

**KAZAN FEDERAL UNIVERSITY
RUSSIAN GRAVITATIONAL SOCIETY**

**18th RUSSIAN
GRAVITATIONAL
CONFERENCE**

**INTERNATIONAL CONFERENCE ON
GRAVITATION, ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY**

ABSTRACTS

**25-29 November 2024
Kazan, Russia**



KAZAN FEDERAL UNIVERSITY

Kazan Federal University
Russian Gravitational Society

18-я РОССИЙСКАЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Международная конференция по гравитации, астрофизике и космологии

Посвящается памяти Алексея Старобинского

Тезисы докладов

18th RUSSIAN GRAVITATIONAL CONFERENCE

International Conference on Gravitation, Astrophysics and Cosmology

Dedicated to the memory of Alexei Starobinsky

Abstracts

25-29 ноября 2024, Казань, Россия

УДК 530.12+521

18-й Российская гравитационная конференция – Международная конференция по гравитации, космологии и астрофизике «RusGrav-18». Тезисы докладов. — Казань: Изд-во КФУ, 2024. – 122 с.

Сборник содержит тезисы докладов участников 18-й Российской гравитационной конференции – Международной конференции по гравитации, космологии и астрофизике «RusGrav-18». 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 конференция проходила в Казанском федеральном университете с 25 по 29 ноября 2024 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.

УДК 530.12+521

© Казанский университет, 2024
© Коллектив авторов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ / ABSTRACTS	10
<i>I.G. Abdullin, V.A. Popov.</i> Boson dark matter halos with a dominant noncondensed component	10
<i>D.L. Abrarov.</i> Three-dimensional delta-functional structure of the exact general solution of the Euler-Poisson equations	10
<i>D.L. Abrarov.</i> Physical arithmetic in the context of the Euler-Poisson equations	11
<i>G.F. Akhtaryanova, U.K. Khidirov, R.N. Izmailov.</i> Galactic microlensing by phantom wormhole with bounded mass function	12
<i>A.V. Aminova, D.R. Khakimov.</i> Symmetries of five-dimensional rigid H -spaces $H_{32,3}$	13
<i>N.A. Avdeev, P.I. Dyadina.</i> Image of accretion disc in HMPG theory	13
<i>O.V. Babourova, B.N. Frolov.</i> Spherically symmetric solution of the Poincaré gauge theory of gravity in the presence of dark energy	13
<i>A.B. Balakin, A.O. Efremova.</i> Nonminimal Einstein-Dirac-axion theory: General formalism	14
<i>G.S. Bisnovatyj-Kogan.</i> Eliminating the Hubble Tension in the Presence of the Interconnection between Dark Energy and Matter in the Universe	15
<i>S.V. Bolokhov, V.D. Ivashchuk.</i> Black hole and Melvin-like solutions governed by fluxbrane polynomials for simple Lie algebras	16
<i>K.A. Bolshakova, S.V. Chervon.</i> A new approach to the analysis of cosmological parameters in multifield cosmology using the example of tensor-multi-scalar theory of gravity	17
<i>K.A. Bronnikov.</i> Stability of gravitating configurations with scalar fields.	18
<i>K.A. Bronnikov, S.V. Bolokhov, M.V. Skvortsova.</i> Multidimensional gravity, black holes and mirror stars	19
<i>I.É. Bulyzhenkov.</i> Correlated accelerations in the monistic replica of Einstein's Equation without the right-hand side	20
<i>S.V. Chervon.</i> Cosmological aspects of modified gravity with higher derivatives	20
<i>I. Dankovsky, S. Ramazanov, E. Babichev, D. Gorbunov, A. Vikman.</i> Emission of gravitational waves by cosmic domain walls	21
<i>S. Dhasmana, A. Sen, Z.K. Silagadze.</i> Equivalence of a harmonic oscillator to a free particle and Eisenhart lift	22
<i>A.F. Shakirzyanov .</i> Generalized vector-tensor models of axion electrodynamics in cosmology and astrophysics	22
<i>M.R. Sharov.</i> Time-dependent, spherically symmetric background in Horndeski theory	23
<i>H. Dimov.</i> Dispersion relations beyond the supergravity holographic approximation	23
<i>V.I. Dokuchaev, K.E. Prokopiev.</i> Finding the valid gravity theory from observations of black hole silhouettes	24
<i>V.I. Dokuchaev, K.E. Prokopiev.</i> Habitation of sustainable civilization inside supermassive black hole	24
<i>A.O. Efremova.</i> A model of aetherically induced fermion production in early Universe	25
<i>V.A. Emelyanov.</i> Coordinate- and spacetime-independent quantum physics	26

<i>I.V. Fomin.</i> Description of the global evolution of the universe based on generalized solutions of the cosmological dynamic equations.	26
<i>I.V. Fomin, V.L. Glushkov, E.S. Dentsel, G.D. Manucharyan.</i> Cosmological inflation based on the generalized scalar field potential	27
<i>M.R. Gilfanov.</i> SRG/eROSITA all-sky survey: from stellar flares and neutrino sources to cosmology	27
<i>D.E. Groshev.</i> Thermodynamical properties of Bardeen-type black hole in de Sitter spacetime	28
<i>A. Hajilou, I.Ya. Aref'eva, K. Rannu, P. Slepov, M. Usova.</i> Magnetic Catalysis and Running Coupling for Heavy Quark Model via Holography.	28
<i>V.R. Ivanov, S.Yu. Vernov.</i> Integrable Chiral Cosmological Models and Modified Gravity	29
<i>R.Kh. Karimov, R.N. Izmailov, K.K. Nandi.</i> Strong gravitational lensing by spinning Tidal charged black hole	30
<i>K.A. Kazarnovskii.</i> On the relevance of quantum corrections to the matter stress-energy tensor in eternally expanding universes	31
<i>A.I. Kuzovchikov.</i> Classical and quantum mechanics on flag manifolds	31
<i>V.K. Milyukov.</i> Space-Borne Gravitational Wave Detector Tianqin: Mission Concept and Current Progress of Implementation	31
<i>A.I. Nazmiev, S.P. Vyatchanin.</i> Multi-output broadband force detection with post process subtraction of quantum back action	32
<i>S.G. Ovchinnikov.</i> Black hole uniqueness theorems in gauged supergravities.	33
<i>A.A. Popov, S.G. Rubin.</i> Black holes in semiclassical $f(R)$ gravity with extra dimensions	33
<i>A.A. Popov, S.G. Rubin.</i> Spontaneous branes formation	34
<i>V.A. Popov.</i> Linear perturbations in the oscillating scalar field dark matter model	35
<i>E.O. Pozdeeva.</i> Slow-roll in the Einstein-Gauss-Bonnet gravity.	35
<i>K.A. Rannu, I.Ya. Aref'eva, P.S. Slepov.</i> Maximal anisotropic solution for Einstein-dilaton models with 4 Maxwell fields in $d = 5$	36
<i>A.A. Reshetnyak.</i> Structure of the covariant cubic vertices for irreducible HS fields with integer and half-integer spins on flat backgrounds	36
<i>Yu.P. Rybakov.</i> Solitons in the Skyrme–Faddeev chiral model and quantum mechanics.	38
<i>B. Saha.</i> Spinor field in cosmology with Lyra's geometry.	38
<i>A.A. Saharian.</i> Topological vacuum densities induced by cosmic strings in anti-de Sitter spacetime	39
<i>T.P. Shestakova.</i> Some features of the extended phase space approach to quantization of gravity	39
<i>A.M. Shtennikova.</i> Perturbations in Horndeski theory above different cosmological backgrounds.	40
<i>M.A. Skugoreva, A.V. Toporensky.</i> Bouncing solutions in $f(T)$ gravity.	40
<i>P.S. Slepov.</i> Energy Loss in Holographic Models with External Magnetic Field and Spatial Anisotropy	41
<i>L.A. Solnyshko, E.V. Mikheeva.</i> Black Hole: Accretion vs Hawking radiation in the Expanding Universe	41

<i>S.V. Sushkov.</i> A cosmological bounce in the theory of gravity with non-minimal derivative coupling	42
<i>Yu.A. Tatarenko.</i> Bilinear currents in 4d higher-spin theory	43
<i>M. Valencia-Villegas.</i> Luminal extensions of Horndeski theory and Beyond	44
<i>M.K. Usova.</i> Holographic approach to the light quarks running coupling: Isotropic case	44
<i>S.Yu. Vernov, E.O. Pozdeeva.</i> Production of primordial black holes in induced gravity models	45
<i>V.D. Vertogradov.</i> Models of formation and evaporation of regular black holes . . .	46
<i>A.V. Vorokhov, D.E. Groshev.</i> Light transport and images of compact objects in effective geometry, sourced by NED.	46
<i>Vu H. Nguyen, Trung V. Phan.</i> Holographic model for color superconductivity in d-dimension bulk	47
<i>R.M. Yusupova, R.N. Izmailov.</i> Thin accretion disc of charged rotating black hole on a 3-brane	48
<i>F.Sh. Zaripov.</i> A unified approach to the description of ‘dark energy’ and ‘dark matter’ within the framework of the modified theory of induced gravity	48
<i>Р.И. Айяла Онья.</i> Уравнение Шрёдингера для полевых моделей: особенности структуры и интерпретация решений.	49
<i>С.О. Алексеев, О.И. Зенин.</i> Астрономические ограничения на расширения ОТО	50
<i>А.В. Аминова, М.Х. Люлинский.</i> Супералгебра де Ситтера: операторная реализация, суперметрика и суперчастица	51
<i>А.С. Андрианов.</i> Наблюдение сверхмассивных черных дыр и кротовых нор при помощи наземно-космического РСДБ в проекте ‘Миллиметрон’	52
<i>А.Б. Арбузов, А.А. Никитенко.</i> О спиновых связностях как переменных квантования гравитации	53
<i>В.В. Аристов.</i> Развитие реляционной статистической концепции пространства-времени и обобщенное описание гравитации и квантовых эффектов	54
<i>А.В. Асташенок.</i> Эволюция флуктуаций в голографической модели темной энергии Цаллиса	55
<i>Л.Н. Астраханцев.</i> Ренормгрупповые потоки в трёхмерной калиброванной супергравитации	57
<i>И.А. Бабенко, А.Г. Жилкин.</i> Обоснование гипотезы Сазерленда-Эйнштейна для магнитных полей астрофизических объектов в рамках геометрического подхода	57
<i>С. Баракин, К. Губарев, Э. Мусаев.</i> Три-векторная деформация внешними потоками.	59
<i>А.М. Баранов.</i> Открытая космологическая модель как осциллятор с вязкостью.	59
<i>И.А. Белькович.</i> Различные методы вычисления мнимой части эффективного действия в расширяющихся пространствах	60
<i>И.А. Бизяев.</i> Классификация геодезических в метрике Шварцшильда-Мельвина	61
<i>И.Э. Булыженков.</i> Коррелированные ускорения в монистической реплике Уравнения Эйнштейна без правой части	62
<i>И.Л. Бухбиндер.</i> Лагранжева формулировка теории поля непрерывного (бесконечного) спина в пространстве анти де Ситтера	62

<i>D.V. Vykov. Supersymmetric 1D sigma models on coadjoint orbits</i>	63
<i>Д.А. Валерьев. Квадратичные поправки в голоморфном секторе уравнений высших спинов в рамках подхода дифференциальной гомотопии I.</i>	63
<i>К.Р. Валиуллин, А.Б. Балакин. Релятивистская аксионно активная плазма в поле динамического эфира: Общий формализм и новая концепция равновесных состояний</i>	63
<i>M.A. Vasiliev. Higher-Spin Gauge Theory and Space-Time + Announce of New Results</i>	64
<i>Ю.С. Владимиров. Метареляционная трактовка гравитации</i>	65
<i>Ю.С. Владимиров. Российское гравитационное общество: Прошлое, настоящее, будущее</i>	66
<i>V.E. Volkova. Speed of gravity waves in beyond Horndeski theories</i>	67
<i>Р.Г. Галеев, С.В. Сушков. Анизотропные космологические модели типа Бианки I, V, IX в теории с неминимальной кинетической связью</i>	68
<i>Л.Д. Гальченко, М.В. Тимохин, В.П. Митрофанов. Измерение механических потерь в соединениях элементов подвесов пробных масс криогенных детекторов гравитационных волн</i>	68
<i>Х.А. Гатин, С.В. Сушков. Анизотропные и неоднородные космологические модели в теории гравитации с кинетическим гравитационным сплетением</i>	69
<i>В.О. Гладышев, В.Л. Кауц, А.В. Каютенко, Г.Д. Манучарян, П.П. Николаев, И.В. Фомин, Е.А. Шарандин. Возможность генерации гравитационных волн в лабораторных условиях</i>	70
<i>К.А. Губарев. Янг-Бакстеровая структура обобщенного пространства.</i>	71
<i>Ф.С. Гурин, С.И. Орешкин, К.В. Руденко. Тесты ОТО лазерными гироскопами</i>	72
<i>А.К. Гуц. Энергия, необходимая для порождения варп-двигателем кротовых нор</i>	73
<i>Е.А. Давыдов. Электродинамика на фоне ударных гравитационных волн</i>	75
<i>Ю.В. Думин. Квази-осцилляции низких мультиполей в спектре реликтового излучения как следствие доменной структуры вакуума</i>	76
<i>Ю.Н. Ерошенко. Темная материя вокруг первичных черных дыр</i>	77
<i>В.М. Журавлев. Масса и параметры вращения звезд в условиях динамического равновесия</i>	77
<i>В.М. Журавлев. Поле тяготения сплошной самогравитирующей среды и 'темная материя'</i>	78
<i>Н.М. Заиграев. $\mathcal{N} = 2$ супертоки и супермультиплет гравитино</i>	80
<i>Г.С. Зверев. Интегрируемость три-векторной деформации двумерных сигма-моделей</i>	80
<i>О.И. Зенин, С.О. Алексеев. Тени черных дыр в расширенных теориях гравитации: учет вращения</i>	81
<i>Е.А. Иванов. $N=2$ суперсимметричные высшие спины из гармонической Грассмановой аналитичности</i>	82
<i>Ю.Г. Игнатьев. Скалярно-гравитационная неустойчивость как механизм образования сверхмассивных черных дыр в ранней Вселенной</i>	83
<i>В.А. Ишкаева, С.В. Сушков. Геодезическое движение фотонов в пространстве-времени динамической кротовой норы</i>	84

<i>А.В. Карпенко, С.П. Вятчанин.</i> Усиленное оптомеханическое взаимодействие в несимметричном интерферометре Майкельсона-Саньяка	85
<i>П.Е. Кашаргин, А.А. Лебедев, С.В. Сушков.</i> Модели нейтронных звёзд с реалистичными уравнениями состояния в теории гравитации с неминимальной кинетической связью	86
<i>Ф.Т. Киракосьянц.</i> Квадратичные поправки в голоморфном секторе уравнений высших спинов в рамках подхода дифференциальной гомотопии II	87
<i>А.А. Кириллов, Е.П. Савелова.</i> О возможном сценарии образования реликтовых кротовых нор	87
<i>А.А. Кириллов, Е.П. Савелова.</i> О свойствах распределения виртуальных кротовых нор в вакууме.	87
<i>Г.Б. Киселев, А.Б. Балакин.</i> Аксионное расширение теории Эйнштейна-Янга-Миллса: Распад цветного эфира и образование аксионной темной материи	88
<i>С.М. Козырев, Р.А. Даишев, Б.П. Павлов.</i> Обратная задача в теории гравитации	89
<i>Е. Корешкова, Д. Горбунов, Ф. Безруков.</i> Уточнение ограничений массы стерильных нейтрино как частиц темной материи на основе оценок фазовой плотности в карликовых галактиках	90
<i>С.С. Купцов, С.А. Пастон, А.А. Шейкин.</i> Вложения сферически симметричных статических метрик в контексте предела слабого поля в теории вложения.	91
<i>А.С. Куренкова.</i> Неабелевы T-дуальности в размерности 4	92
<i>А.Н. Мелихов, Е.В. Михеева.</i> Нагрев молекулярного облака первичной черной дырой	93
<i>В.П. Митрофанов.</i> Интерферометрические детекторы гравитационных волн, состояние и перспективы развития.	93
<i>Ю.А. Моисеев, О.С. Сажина.</i> Перспективы наблюдательного поиска кротовых нор в астрофизических системах	94
<i>А.Б. Молчанов.</i> Статистическая метрика в системе большого числа излучателей и поглотителей	95
<i>Э.Т. Мусаев.</i> Семейства квантовых теорий поля в контексте M-теории.	97
<i>Р.К. Мухарлямов, Шехабальдин Омер Али Башир.</i> Процесс изотропизации Вселенной с магнитным полем в теории Хорнденски с $G_3(X, \phi)$ и $G_5(X)$	98
<i>Р.К. Мухарлямов, Шехабальдин Омер Али Башир.</i> Точные космологические решения с магнитным полем в теории гравитации с неминимальной кинетической связью.	98
<i>Н.С. Неделько, А.С. Чудайкин, Д.С. Горбунов.</i> Сломанная лестница: Хаббловский кризис в поздних модификациях Λ CDM	100
<i>В.Н. Павелкин, В.Ф. Панов.</i> 7-мерная космологическая модель с вращением в дополнительных измерениях	100
<i>А.Е. Павлов.</i> Интегрируемость усечённой миксмастерной модели Хоравы – Лифшица в функциях Розенхайна	101
<i>Ю.В. Павлов.</i> О фазовых переходах при столкновениях частиц в окрестности черных дыр.	102
<i>Т.А. Петров, Э.Т. Мусаев, К.А. Губарев.</i> Поливекторные деформации решений ПВ супергравитации.	103

<i>Н.К. Порайко.</i> Пульсарные сети на пороге детектирования гравитационно-волнового фона	104
<i>В.Н. Руденко, А.В. Белоненко, А.В. Гусев, С.М. Попов.</i> Измерение «RedShift» эффекта с космическим аппаратом «РадиоАстрон».	105
<i>Д.И. Садеков.</i> Секулярные эффекты в пространстве де Ситтера	105
<i>О.С. Сажина.</i> Проблемы и методы современного поиска космических струн	106
<i>А.Б. Сибгатуллин.</i> Исследование кандидата в карликовые новые OGLE-BLG-DN-0064 в рентгеновском и оптическом диапазонах.	107
<i>А.В. Соловьев.</i> Об инвариантном интегрировании на псевдофинслеровых многообразиях	107
<i>Е.О. Спирин.</i> Поля вне массовой оболочки и сохраняющиеся токи	108
<i>Р.А. Сюняев.</i> Поверхности последнего рассеяния и чернотельной фотосферы Вселенной. Спектральные искажения реликтового излучения: предсказания и первые результаты	109
<i>В.А. Тайнов.</i> Рассеяние монохроматической волны на ударной гравитационной волне.	110
<i>А.В. Тимошкин.</i> Космологические модели поздней Вселенной на основе новой обобщенной энтропии.	110
<i>И.С. Фаляхов.</i> Новый вакуум в голоморфной теории высших спинов в AdS_4	111
<i>Р.Р. Фатыхов, С.В. Сушков.</i> Динамические свойства космологических моделей в теории Хорндески.	112
<i>В.В. Федотов, С.В. Червон.</i> Влияние кинетического скаляра кручения на космологические решения $F(T)$ гравитации.	113
<i>М.Л. Фильченков, Ю.П. Лаптев.</i> Гравитационно-связанные системы на различных уровнях квантования	114
<i>Д.В. Фурсаев.</i> Гравитационные и электромагнитные волны, генерируемые светоподобными космическими струнами, безмассовыми частицами и светоподобными бранами.	115
<i>Т.И. Чаадаева.</i> Согласование с наблюдательными данными скалярно-торсионной гравитации с полем самодействия галилеонного типа	115
<i>Д.А. Шатов, В.Д. Вертоградов.</i> Образование регулярной чёрной дыры в процессе гравитационного коллапса	116
<i>А.В. Юров, А.А. Юрова.</i> Стохастическая динамика и вечная инфляция.	117
<i>V. Yurov, A. Yurov.</i> Could the Barrow Universe be an antidote for cosmological singularities?.	118
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	119

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ / ABSTRACTS

BOSON DARK MATTER HALOS WITH A DOMINANT NONCONDENSED COMPONENT

I.G. Abdullin¹, V.A. Popov²

¹ *videns42@gmail.com*; Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlyovskaya st. 18, Kazan 420008, Russia

² *vladipopov@mail.ru*; Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlyovskaya st. 18, Kazan 420008, Russia

We consider galaxy halos formed by dark matter bosons with mass in the range of about a few tens or hundreds eV. A major part of the particles is in a noncondensed state and described under the Thomas-Fermi approach. Derived equations are solved numerically to find the halo density profile. The noncondensed state is supported in the entire halo except compact gravitationally bounded Bose-Einstein condensates. Although the size of these compact objects, also known as Bose stars, depends on interactions between the particles, its upper limit is only about 100 astronomical units. The Bose stars collect the condensed bosons providing a density cusp avoidance in the halo as well as a natural mechanism to prevent overproduction of small halos. Clusters of the Bose stars can also contribute to the halo density profile. The model is analyzed by confronting its predictions with observations of galaxy rotation curves.

THREE-DIMENSIONAL DELTA-FUNCTIONAL STRUCTURE OF THE EXACT GENERAL SOLUTION OF THE EULER-POISSON EQUATIONS

D.L. Abrarov¹

¹ *abrarov@yandex.ru*; Russia, Moscow, Gubkin University

The Euler-Poisson equations describing a dynamics of three-dimensional heavy tops in a plane-parallel gravitational field have the form:

$$\frac{d\bar{M}}{dt} = [\bar{M}, \bar{\omega}] + k [\bar{\gamma}, \bar{c}], \quad \frac{d\bar{\gamma}}{dt} = [\bar{\gamma}, \bar{\omega}], \quad (1)$$

where the corresponding vectors are: \bar{M} - angular moment of the body; $\bar{\omega}$ - angular velocity of the body; \bar{c} - displacement of the fixing point of the body from its center mass; $\bar{\gamma}$ - projections of the vertical unit vector on the axis of the of the moving coordinate system, rigidly connected with the body; I - diagonalized inertia tensor of the body at its fixed point; $k = mg|r_c|$ - coefficient equal to the product of body weight by the distance from a fixed point to the center of mass.

Theorem 1. The general vector-valued solution of equations (1) is represented in the form:

$$\vec{M}(s, s_0)_{general} = \exp(\zeta(s, \Delta_{12}(q)) \cdot (\zeta(s, \Delta_{12}(q)) = 0) \pmod{3}).$$

where $\Delta_{12}(q)$ - is the parabolic form of weight 12 with respect to the group $SL_2(\mathbb{Z})$:

$$q \prod_{n=1}^{n=\infty} (1 - q^n)^{24}, \quad q = e^{2\pi iz}, \quad \{z \in \mathbb{C}, \text{Im}z > 0\};$$

Theorem 2. The general solution of equations (1) defines canonical vector-valued three-dimensional delta-function as analytic vector-valued correctly defined residue:

$$\overrightarrow{Res}(s, s_0)_{s=\infty}(\exp(\zeta(s, \Delta_{12}(q)) \cdot (\zeta(s, \Delta_{12}(q)) = 0) \pmod{3})).$$

References

1. Abrarov D. L. The exact solvability of the Euler-Poisson equations: global dynamics and zeta-functions. Moscow, Scientific World, 2021, 612 p.
2. Abrarov D. L. Zeta-functional exact general solution of the Euler-Poisson equations as a "Modular top" and its duality to the one-degree delta-functional dynamic system Vertical pendulum, 55 p. <https://www.IntellectualArchive.com>

PHYSICAL ARITHMETIC IN THE CONTEXT OF THE EULER-POISSON EQUATIONS

D.L. Abrarov¹

¹ abrarov@yandex.ru; Russia, Moscow, Gubkin University

The Euler-Poisson equations (EPE) describe a dynamics $\overrightarrow{M}(s, s_0)_{general}$ of three-dimensional heavy tops in a plane-parallel gravitational field [1].

Theorem 1. The general vector-valued solution of the EPE is represented in the form:

$$\overrightarrow{M}(s, s_0)_{general} = \exp(\zeta(s, \Delta_{12}(q)) \cdot (\zeta(s, \Delta_{12}(q)) = 0) \pmod{3})).$$

where $\Delta_{12}(q)$ - is the parabolic form of weight 12 with respect to the group $SL_2(\mathbb{Z})$:

$$q \prod_{n=1}^{n=\infty} (1 - q^n)^{24}, \quad q = e^{2\pi iz}, \quad \{z \in \mathbb{C}, \text{Im}z > 0\};$$

Theorem 2. The phase flow of the EPE is equivalent to the phase flow of a dynamical system Vertical pendulum (VP) as the normal form of the EPE [2]. Then there is a vector-valued formula

$$\{Amplitude, Phase, Frequency\}(VP) = \overrightarrow{Res}_{s=0,1,1/2}(\exp(\zeta(s, \Delta_{12}(q)))$$

These three real numbers can be interpreted as the model of fundamental constants respectively: speed of light, gravitational constant, Plank constant.

References

1. Abrarov D. L. The exact solvability of the Euler-Poisson equations: global dynamics and zeta-functions. Moscow, Scientific World, 2021, 612 p.
2. Abrarov D. L. Zeta-functional exact general solution of the Euler-Poisson equations as a "Modular top" and its duality to the one-degree delta-functional dynamic system Vertical pendulum, 55 p. <https://www.IntellectualArchive.com>

GALACTIC MICROLENSING BY PHANTOM WORMHOLE WITH BOUNDED MASS FUNCTION

G.F. Akhtaryanova¹, U.K. Khidirov², R.N. Izmailov³

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 *umurzokhidirov33@gmail.com*; 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

Phantom wormholes could be interesting in the sense that they are built out of phantom energy defined by equation of state $\omega = p_r/\rho < -1$, which is speculated to be a possible cause driving late-time cosmic acceleration [1]. Both wormholes or phantom equation of state have really not been confirmed by observations. It has been recently shown by Lobo, Parsaei and Riazi (LPR) that wormholes with phantom energy could actually be found as exact solutions of Einsteins equations. We shall consider here the LPR solution with bounded mass function [2], which given as

$$ds^2 = - \left(1 + \frac{\lambda r_0}{r}\right)^{1-\frac{1}{\lambda}} dt^2 + \left[1 - (1-\lambda) \frac{r_0}{r} - \frac{\lambda r_0^2}{r^2}\right]^{-1} dr^2 + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2), \quad (1)$$

where λ is a constant and r_0 is the minimum radius. According to equation of state, we get the following range $-1 < \lambda < 0$.

We shall present here a novel application of phantom wormholes as lenses treated as dark matter halo objects in Galactic microlensing [3]. Here we obtained deflection angle of LPR wormhole up to fourth order using PPN formalism [4] and analyzed the effect of λ on the lensing observables such as the image positions, magnification, centroid and time delay of images of the source stars.

Finally, we report that the Paczynski light curves of the phantom wormhole become dimmer as λ increases. However, the peak of the light curves does not depend on the λ . The probability of detecting a phantom wormhole lens in the Bulge and in the LMC lensing has been briefly speculated in view of optical depth and event rates.

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. G.Hinshow et al., *Astrophys. J.Suppl. Ser.* **148**, 135 (2003).
2. F.S.N. Lobo, F. Parsaei and N. Riazi, *Phys. Rev. D* **87**, 084030 (2013).
3. G.F. Akhtaryanova et al., *Gen. Relativ. Gravit.* **56**, 58 (2024)
4. C.R. Keeton, A.O. Petters, *Phys. Rev. D* **72**, 104006 (2005).

SYMMETRIES OF FIVE-DIMENSIONAL RIGID H -SPACES $H_{32,3}$ A.V. Aminova¹, D.R. Khakimov²¹ *asya.aminova@kpfu.ru*; Kazan (Volga Region) Federal University² *dzhamoliddink@mail.ru*; Kazan (Volga Region) Federal University

Symmetries of systems of differential equations of geodesics in the form of Lie algebras of infinitesimal projective transformations (projective motions) of 5-dimensional pseudo-Riemannian manifolds (M^5, g) — h -spaces $H_{32,3}$ of type {32} are investigated. Necessary and sufficient conditions are determined under which $H_{32,3}$ is a space of constant (zero) curvature. Non-homothetic projective motions in $H_{32,3}$ of non-constant curvature are found, homotheties and isometries of the indicated spaces are investigated, dimensions, basis elements and structural equations of maximal projective Lie algebras acting in them are determined. As a result, a classification of h -spaces $H_{32,3}$ of type {32} by (non-homothetic) Lie algebras of infinitesimal projective and affine transformations is obtained.

IMAGE OF ACCRETION DISC IN HMPG THEORYN.A Avdeev¹, P.I Dyadina²¹ *NAAvdeev1995@mail.ru*; Sternberg Astronomical Institute MSU² Sternberg Astronomical Institute MSU

HMBG is a hybrid theory that combines the metric and Palatini approaches, addressing the shortcomings of each while leveraging their respective strengths. This theory has been successfully tested in diverse settings, including the Solar System, binary pulsar systems, cosmological scales, etc.

In our previous work, we analyzed accretion onto a spherically symmetric black hole in the framework of this theory. Specifically, we calculated the flux and luminosity of the accretion disk for different scenarios, including cases with zero potential and the Higgs potential.

Building on this foundation, this paper focuses on the visualization of the accretion disk. We have constructed images of the disk and compared them to real observations from the Event Horizon Telescope.

SPHERICALLY SYMMETRIC SOLUTION OF THE POINCARÉ GAUGE THEORY OF GRAVITY IN THE PRESENCE OF DARK ENERGYO.V. Babourova¹, B.N. Frolov²¹ *baburova@orc.ru*; Moscow, Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)² *frolovbn@orc.ru*; Moscow, Pedagogical State University (MPSU)

In 1965 T.E. Gliner proposed to treat the cosmological constant Λ as a cosmic medium, later called a dark energy. In our approach we model this medium as a weakly interacting

scalar field β with a potential, whose magnitude is determined by the modern value of the cosmological constant $\Lambda = 10^{-56} \text{sm}^{-2}$, assuming that the interaction constant l of the field β is extremely small, $l \ll 1$).

In the Poincaré gauge theory of gravity, in the presence of a scalar field β , the Lagrangian density will vary with respect to independent variables, the connection 1-form Γ , the basis 1-forms θ^a , and the scalar field β . In the spherically symmetric case we obtain 3 independent equations. The solution closest to the Schwarzschild solution is obtained if we neglect the value of the cosmological constant Λ in the equations, taking into account which, due to its extreme smallness, is important when solving quantum problems. As a result, we obtain the solution, where $r_g = 2GM/c^2$ is the Schwarzschild radius,

$$ds^2 = e^{\frac{r_g}{r}} ds_{YR}^2, \quad (1)$$

$$ds_{YR}^2 = e^{-\frac{r_g}{r}} dt^2 - e^{\frac{r_g}{r}} (dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)). \quad (2)$$

The metric (2) is called the Yilmaz-Rosen metric. This metric is very close to the Schwarzschild solution, since for large r_g this metric will coincide with the Schwarzschild metric not only in Newtonian but also in post-Newtonian (*PPN*) approximations. Therefore, the Yilmaz-Rosen metric (2) will give the same experimental results as the Schwarzschild metric. The additional exponent in the solution (1) will give a slight difference in the trajectories of the planets, as well as spacecraft within the Solar System, compared to those determined using the Schwarzschild metric. Such effects are observed, for example, "flight anomaly".

The metric (2) does not have a singularity on the Schwarzschild sphere and thus does not implement black holes (in the standard sense), but for huge values of r_g , small size of the central superdense body, and also due to the smallness of the coupling constant l , a huge value of the gravitational potential arises, preventing the escape of light, which leads to the appearance of quasi-black holes due to the phenomenon discovered by John Michell back in 1784. In this case the space turns out to be accessible up to the central body that generates this quasi-black hole.

NONMINIMAL EINSTEIN-DIRAC-AXION THEORY: GENERAL FORMALISM

A.B. Balakin¹, A.O. Efremova²

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

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

We establish a nonminimal version of the theory of interaction between the gravitational, spinor and pseudoscalar (axion) fields (the so-called nonminimal Einstein-Dirac-axion theory) linear in curvature. The presented version is based on the Effective field theory up to the second order in derivatives, and the Lagrangian is linear in the number density of the spinor particles.

Mathematical formalism of this new theory is elaborated along the line of the nonminimal extensions of the Einstein-Maxwell theory [1], Einstein-Maxwell-axion theory [2] and Einstein-Yang-Mills theory [3]. To be more precise, we include into the Lagrangian the terms linear in the Riemann curvature tensor, its left and right dual tensors, the Ricci tensor and Ricci scalar in convolutions with appropriate spinor tensors and pseudotensors. Four phenomenological coupling constants are introduced in front of these nonminimal terms. The pseudoscalar field appears in the nonminimal part of the Lagrangian as the argument of the periodic trigonometric functions, thus keeping the discrete symmetry associated with the axion field.

Based on the variation formalism we obtain the coupled system of nonminimally extended equations, describing the spinor, axion and gravitational fields. New spinor sources for the axion field and new axionic sources for the spinor field are shown to be produced due to the nonminimal coupling in this system.

References

1. A.B. Balakin, J.P.S. Lemos. Non-minimal coupling for the gravitational and electromagnetic fields: a general system of equations. *Classical and Quantum Gravity*, 2005, 22, N 9, 1867-1880.
2. Balakin A.B., Wei-Tou Ni. Non-minimal coupling of photons and axions. *Classical and Quantum Gravity*, 2010, 27, No. 5,7, 055003.
3. Balakin A.B., Zayats A.E. Nonminimal field theory. I. Extension of the Einstein-Yang-Mills model. *Space, time and fundamental interactions*, 2013, N2, 51-70.

ELIMINATING THE HUBBLE TENSION IN THE PRESENCE OF THE INTERCONNECTION BETWEEN DARK ENERGY AND MATTER IN THE UNIVERSE

G.S. Bisnovatyi-Kogan¹

¹ *gkogan@cocmos.ru*; Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

It is accepted in modern cosmology that the scalar field responsible for the inflationary stage of the early Universe is completely transformed into matter. It is assumed that the accelerated expansion is currently driven by dark energy (DE), which is likely determined by Einstein's cosmological constant, unrelated to the scalar field responsible for inflation. We consider a cosmological model in which DE can currently have two components, one of which is Einstein's constant (Λ) and the other, smaller dark energy variable component DEV (Λ_V), is associated with the remnant of the scalar field that caused inflation after the main part of the scalar field has turned into matter. We consider only the stages of evolution of the Universe after recombination ($z \lesssim 1100$), where dark matter (DM) is the predominant component of matter. It is assumed that the transformation of the scalar field into matter continues at the present time and is accompanied by the reverse process of the transformation of DM into a scalar field. The interconnection between DM and DEV, which leads to a linear relationship between the energy densities of these components after recombination $\rho_{DM} = \alpha \rho_{DEV}$, is considered.

One of the problems that have arisen in modern cosmology, called Hubble Tension (HT), is the discrepancy between the present values of the Hubble constant (H_0) measured from observations of the Universe at small redshifts ($z \lesssim 1$) and the values found from fluctuations of the cosmic microwave background in the Universe at large redshifts ($z \approx 1100$). In the model under consideration, this discrepancy can be explained by the deviation of the existing cosmological model from the conventional cold dark matter (CDM) model of the flat Universe by the action of the additional dark energy component DEV at the stages after recombination. To maintain the ratio of DEV and DM energy densities close to constant over the interval $0 \leq z \lesssim 1100$, it is necessary to assume the existence of a wide spectrum of dark matter particle masses.

See publication:

1. G. S. Bisnovatyi-Kogan “Cosmological Model with Interconnection between Dark Energy and Matter.” *Universe*, 2021, Vol. 7, 412.
2. G. S. Bisnovatyi-Kogan, and A. M. Nikishin “Eliminating the Hubble Tension in the Presence of the Interconnection between Dark Energy and Matter in the Modern Universe” *Astronomicheskii Zhurnal*, 2023, Vol. 100, No. 2, pp. 133–143. *Astronomy Reports*, 2023, Vol. 67, No. 2, pp. 115–124.

BLACK HOLE AND MELVIN-LIKE SOLUTIONS GOVERNED BY FLUXBRANE POLYNOMIALS FOR SIMPLE LIE ALGEBRAS

S.V. Bolokhov¹, V.D. Ivashchuk²

¹ *bolokhov-sv@rudn.ru*; Institute of Gravitation and Cosmology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russia

² *ivashchuk-vd@rudn.ru, ivas@vniims.ru*; Institute of Gravitation and Cosmology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russia; Center for Gravitation and Fundamental Metrology, VNI-IMS, 46 Ozyornaya Str., Moscow 119361, Russia

The talk deals with generalized Melvin solutions and multiple charged black hole solutions corresponding to simple finite-dimensional Lie algebras. Any solution appears in a model which contains metric, n scalar fields coupled to n Abelian 2-forms with dilatonic coupling vectors governed by simple Lie algebra of rank n . The set of n moduli functions for Melvin-type solutions $H_s(z)$ obeys n non-linear (ordinary) differential equations (of second order) with certain boundary conditions imposed. In fact, they are equivalent to Toda equations. Earlier, it was conjectured that these moduli functions should be polynomials in z (so-called “fluxbrane” polynomials) depending upon certain parameters $p_s > 0$, $s = 1, \dots, n$ [1]. This conjecture was verified for polynomials corresponding to Lie algebras of ranks $n = 1, 2, 3, 4, 5$ and exceptional algebra E_6 [2]. Certain relations for the polynomials (e.g. symmetry and duality ones) were outlined. In general case when polynomial conjecture is valid, 2-form flux integrals were calculated. The fluxbrane polynomials are used for constructing multiple charged black hole (BH) solutions [3] and also more general (higher dimensional) fluxbrane and black brane ones [1, 3, 4]. Some aspects of BH solutions (e.g. physical parameters, photon spheres, ISCO, quasinormal modes) are briefly discussed [5, 6].

References

1. V.D. Ivashchuk, Composite fluxbranes with general intersections. *Class. Quantum Grav.*, *19*, 3033-3048 (2002).
2. S.V. Bolokhov and V.D. Ivashchuk, Fluxbrane Polynomials and Melvin-like Solutions for Simple Lie Algebras, *Symmetry*, *15*(6), 1199 (41 p.) (2023).
3. V.D. Ivashchuk, Black brane solutions governed by fluxbrane polynomials. *J. Geom. Phys.*, *86*, 101-111 (2014).
4. V.D. Ivashchuk, On brane solutions with intersection rules related to Lie algebras (review). *Symmetry*, *9*, id. 155 (2017).
5. A.N. Malybayev, K.A. Boshkayev, and V.D. Ivashchuk, Quasinormal modes in the field of a dyon-like dilatonic black hole, *Eur. Phys. J. C* *81*, 475 (2021).
6. K. Boshkayev, G. Suliyeva, V. Ivashchuk, and A. Urazalina, Circular geodesics in the field of double-charged dilatonic black holes, *Eur. Phys. J. C*, *84*, id. 19 (12 p.) (2024).

A NEW APPROACH TO THE ANALYSIS OF COSMOLOGICAL PARAMETERS IN MULTIFIELD COSMOLOGY USING THE EXAMPLE OF TENSOR-MULTI-SCALAR THEORY OF GRAVITY

K.A. Bolshakova¹, S.V. Chervon²

¹ bolshakova.ktrn@gmail.com; Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, 432071, Russia

² chervon.sergey@gmail.com; Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, 432071, Russia; Kazan Federal University, Kazan, 420008, Russia; Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

Currently, methods for calculating the main cosmological parameters [2] have been developed for the cosmological inflation model based on a single scalar field. However, in the context of multifield models, there is no universal method for calculating these parameters. In a general approach, two algorithms can be distinguished that allow calculating cosmological parameters for multifield models: using the ansatz of the transition from a single scalar field to chiral fields [3] and using linear coupling between fields [2].

In present contributions authors present a new and efficient algorithm that makes it possible to switch from a multifield model to a single-field model using the example of tensor-multi-scalar theory of gravity. This algorithm is based on the research presented in [2]. The use of this algorithm makes it possible to accurately determine the cosmological parameters describing the early inflation of the Universe within the framework of the tensor-multi-scalar theory of gravity.

The article was written within the framework of Additional Agreement No. 073-03-2024-060/1 dated February 13, 2024 to the Agreement on the provision of subsidies from the federal budget for financial support for the implementation of the state task for the provision of public services (performance of work) No. 073-03-2024-060 dated January 18, 2024, concluded between the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "UISPU I.N. Ulyanov" and the Ministry of Education of the Russian Federation.

References

1. **Chervon S. V.** Scalar Field Cosmology / Chervon S., Fomin I., Yurov V., Yurov A. // Series on the Foundations of Natural Science and Technology, 13.
2. **Chervon S. V.** Cosmological parameters of $f(R)$ gravity with kinetic scalar curvature / S. V. Chervon, I. V. Fomin, T. I. Mayorova, A. V. Khapaeva // J.Phys.Conf.Ser. 1557 (2020), 012016.
3. **Chervon S. V.** Superpotential method for chiral cosmological models connected with modified gravity / S. V. Chervon, I. V. Fomin, E. O. Pozdeeva, M. Sami and S. Y. Vernov, // Phys. Rev. D 100, no.6, 063522 (2019)

STABILITY OF GRAVITATING CONFIGURATIONS WITH SCALAR FIELDS

K.A. Bronnikov¹

¹ *kb20@yandex.ru*; Center of Gravitation and Fundamental Metrology, VNIIMS, Ozyornaya ul. 46, Moscow 119361, Russia; Institute of Gravitation and Cosmology, RUDN University, ul. Miklukho-Maklaya 6, Moscow 117198, Russia; National Research Nuclear University “MEPhI”, Kashirskoe sh. 31, Moscow 115409, Russia

The talk is devoted to the stability problem for static, spherically symmetric solutions of general relativity (GR) and some extended theories of gravity, containing scalar fields. We restrict ourselves to linear radial (monopole) perturbations that are most likely to cause an instability. We begin with derivation of a general effective potential V_{eff} for perturbations of solutions of GR with a scalar field ϕ having an arbitrary self-interaction potential $V(\phi)$, where the scalar field can be canonical or phantom and can interact with an electromagnetic field in the manner $S(\phi)F^{\mu\nu}F_{\mu\nu}$ ($S(\phi)$ = arbitrary function) [1]. This form of V_{eff} is further used to obtain numerous particular stability results: (i) for scalar-vacuum and scalar-electrovacuum solutions of GR with $V(\phi) = 0$ and related solutions of scalar-tensor theories [2-4], (ii) for some classes of black-hole and wormhole solutions of GR with phantom scalars [5-7], (iii) for some solutions of hybrid metric-Palatini gravity [8]. It is stressed that the stability of solutions in many extended theories of gravity, related to those of GR by conformal mappings, is governed by the same master equation for perturbations, but the boundary conditions vary from theory to theory and can substantially change the stability conclusions.

References

1. K.A. Bronnikov and P.A. Korolyov, Grav. Cosmol. 21, No. 2, 157–165 (2015); arXiv: 1503.02956.
2. K.A. Bronnikov, A.V. Khodunov, Gen. Rel. Grav. **11**, 13 (1979).
3. K.A. Bronnikov, S.V. Bolokhov, M.V. Skvortsova, K. Badalov, R. Ibadov, Grav. Cosmol. 29 (4), 374-386 (2023); arXiv: 2309.01794.
4. K.A. Bronnikov, S.V. Bolokhov, M.V. Skvortsova, R. Ibadov, F.Y. Shaymanova, Eur. Phys. J. C **84**, 1027 (2024); arXiv: 2407.12144.
5. K.A. Bronnikov, J.C. Fabris, A. Zhidenko, Eur. Phys. J. C **71** (11), 1791 (2011); arXiv: 1109.6576.
6. K.A. Bronnikov, R.A. Konoplya, A. Zhidenko, Phys. Rev. D **86**, 024028 (2012); arXiv: 1205.2224.
7. K.A. Bronnikov. Particles **2018**, 1, 5 (2018); arXiv: 1802.00098.

8. K.A. Bronnikov, S.V. Bolokhov, M.V. Skvortsova, *Grav. Cosmol.* **26**, 212–227 (2020); arXiv: 2006.00559.

MULTIDIMENSIONAL GRAVITY, BLACK HOLES AND MIRROR STARS

K.A. Bronnikov¹, S.V. Bolokhov², M.V. Skvortsova³

¹ *kb20@yandex.ru*; Institute of Gravitation and Cosmology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russia; Center for Gravitation and Fundamental Metrology, VNIIMS, 46 Ozyornaya Str., Moscow 119361, Russia

² *boloh@rambler.ru*; Institute of Gravitation and Cosmology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russia

³ *milenas577@mail.ru*; Institute of Gravitation and Cosmology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russia

We consider a class of static, spherically symmetric solutions of multidimensional gravity on a D -dimensional manifold $\mathbb{M}_D = \mathbb{M}_0^{(4)} \times \prod_i \mathbb{M}_i$ with Kaluza-Klein-like extra dimensions,

$$ds_D^2 = A(x)dt^2 - \frac{dx^2}{A(x)} - r^2(x)d\Omega^2 + \sum_i e^{2\beta_i(x)} ds_i^2, \quad (1)$$

where the factor spaces \mathbb{M}_i are compact and very small, and suppose that among \mathbb{M}_i there is some extra 1D factor space parametrized by a “circular” variable ν . By replacing $dt \leftrightarrow d\nu$, one can formally obtain a kind of “complementary” solution to the same field equations with similar structure of metric tensor but totally different picture of space-time. Using as an example 5D Schwarzschild-like solutions modified via this trick, we argue that such space-times, being formally related to black-hole solutions, can observationally represent (from a 4D perspective) specific compact star-like objects whose surface reflects back particles or signals getting there due to special topological features of the manifold. We call this type of multidimensional solutions “mirror stars”.

Some particular examples of such solutions are presented and discussed: 5D “quasi-Schwarzschild” solution and mirror stars in the 5D electrovacuum (electric, magnetic, quasiscalar), including cases of sources from the non-linear electrodynamics. The mentioned electrovacuum models are special cases of much more general and complicated D -dimensional solutions obtained previously [1–3].

We also discuss possible ways to relate mirror stars with current astrophysical observations [4]. Physical and mathematical properties of such objects can be a subject of further research.

References

1. K. A. Bronnikov, On spherically symmetric solutions in D -dimensional dilaton gravity. *Grav. Cosmol.* **1**, 67-78 (1995). ArXiv: gr-qc/9505020.
2. K. A. Bronnikov, V. D. Ivashchuk, V. N. Melnikov. The Reissner-Nordstrom Problem for Intersecting Electric and Magnetic p -Branes. *Grav. Cosmol.* **3**, 203-212 (1997)
3. V. D. Ivashchuk, V. N. Melnikov. Exact solutions in multidimensional gravity with antisymmetric forms. *Class. Quant. Grav.* **18**, R87-R152 (2001). ArXiv: hep-th/0110274

4. Nami Uchikata et al. Searching for gravitational wave echoes from black hole binary events in the third observing run of LIGO, Virgo, and KAGRA collaborations. ArXiv: 2309.01894

CORRELATED ACCELERATIONS IN THE MONISTIC REPLICAS OF EINSTEIN'S EQUATION WITHOUT THE RIGHT-HAND SIDE

I.É. Bulyzhenkov¹

¹ *ibphys@mail.ru*; Moscow, Russia, orcid.org/0000-0003-3835-0973

The correlated 4-coordinate accelerations are responsible for the kinetic mechanism of field-mass generation in the monistic self-assembly of non-local space-matter. Four Hilbert variations for a continuous material filling with Euclidean 3-geometry support equal active and passive mass densities in the monistic analogue of Einstein's tensor equation without right-hand side. Strict solutions lead to a verifiable alternative to the Schwarzschild metric, Shannon potentials for information-energy distributions in field self-organisation and to the nullification of its total mechanical energy due to self-gravity. The monistic geometrodynamics of nonlocal cosmic hierarchies overcomes the requirement of gravitational collapse in Bentley's paradox at insignificant radiative dissipation.

COSMOLOGICAL ASPECTS OF MODIFIED GRAVITY WITH HIGHER DERIVATIVES

S.V. Chervon¹

¹ *chervon.sergey@gmail.com*; Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, 432071, Russia; Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia; Kazan Federal University, Kazan, 420008, Russia

The appearance of higher order terms with arbitrary number of derivatives in the gravitational Lagrangian is natural if gravity emerges from some more fundamental finite quantum theory, e.g. theory of superstrings [1].

In the talk it will be considering cosmology based on 6-th order gravity, direct definition of two scalar fields for avoiding higher derivatives [1]. Lagrangian multipliers method (in the framework of $f(R, (\nabla R)^2, \square R)$) gravity for reducing high order gravity to GR with scalar fields [2] and presentation of this model in terms of chiral self-gravitation model [3] will be considering as well. Development of modified teleparallel gravity with higher-derivative torsion terms and problem of reducing such a model to TEGR will be discussed.

The talk was written within the framework of Additional Agreement No. 073-03-2024-060/1 dated February 13, 2024 to the Agreement on the provision of subsidies from the federal budget for financial support for the implementation of the state task for the provision of public services (performance of work) No. 073-03-2024-060 dated January 18, 2024, concluded between the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "UISPU I.N. Ulyanov" and the Ministry of Education of the Russian Federation.

References

1. S. Gottlober, H.-J. Schmidt and A. A. Starobinsky, Sixth-order gravity and conformal transformations, *Class. Quantum Grav.* 7 (1990) 893-900.
2. A. Naruko, D. Yoshida, S. Mukohyama, Gravitational scalar-tensor theory, *Class. Quantum Grav.* 33 (2016) 09LT01.
3. S.V. Chervon, I.V. Fomin, T.I. Mayorova, Chiral Cosmological Model of $f(R)$ Gravity with a Kinetic Curvature Scalar, *Grav. Cosmol.* 25 (2019) No.3, 205-212.

EMISSION OF GRAVITATIONAL WAVES BY COSMIC DOMAIN WALLS

I. Dankovsky¹, S. Ramazanov², E. Babichev³, D. Gorbunov⁴, A. Vikman⁵

- ¹ ivan.dankovsky@gmail.com; Faculty of Physics, MSU, 119991 Moscow, Russia; Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, 117312 Moscow, Russia
² Institute for Theoretical and Mathematical Physics, MSU, 119991 Moscow, Russia
³ Université Paris-Saclay, CNRS/IN2P3, IJCLab, 91405 Orsay, France
⁴ Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, 117312 Moscow, Russia; Moscow Institute of Physics and Technology, 141700 Dolgoprudny, Russia
⁵ CEICO, Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences (FZU), Na Slovance 1999/2, 182 00 Prague 8, Czech Republic

Employing the publicly available $\mathcal{C}_{\text{osmo}}\mathcal{L}_{\text{attice}}$ code, we conduct numerical simulations of a domain wall network and the resulting gravitational waves (GWs) in a radiation-dominated Universe in the Z_2 -symmetric scalar field model. In particular, the domain wall evolution is investigated in detail both before and after reaching the scaling regime, using the combination of numerical and theoretical methods. We demonstrate that the total area of closed walls is negligible compared to that of a single long wall stretching throughout the simulation box. Therefore, the closed walls are unlikely to have a significant impact on the overall network evolution. This is in contrast with the case of cosmic strings, where formation of loops is crucial for maintaining the system in the scaling regime. To obtain the GW spectrum, we develop a technique that separates physical effects from numerical artefacts arising due to finite box size and non-zero lattice spacing. Our results on the GW spectrum agree well with Refs. [1, 2], which use different codes. Notably, we observe a peak at the Hubble scale, an exponential falloff at scales shorter than the wall width, and a plateau/bump at intermediate scales. We also study sensitivity of obtained results on the choice of initial conditions. We find that different types of initial conditions lead to qualitatively similar domain wall evolution in the scaling regime, but with important variations translating into different intensities of GWs.

References

1. N. Kitajima, J. Lee, K. Murai, F. Takahashi and W. Yin, [arXiv:2306.17146 [hep-ph]].
2. R. Z. Ferreira, S. Gasparotto, T. Hiramatsu, I. Obata and O. Pujolas, [arXiv:2312.14104 [hep-ph]].

EQUIVALENCE OF A HARMONIC OSCILLATOR TO A FREE PARTICLE AND EISENHART LIFT

S. Dhasmana¹, A. Sen, Z.K. Silagadze

¹ *Z.K.Silagadze@inp.nsk.su*; Budker Institute of Nuclear Physics and Novosibirsk State University

It is widely known in quantum mechanics that solutions of the Schrödinger equation (SE) for a linear potential are in one-to-one correspondence with the solutions of the free SE. The physical reason for this correspondence is Einstein's principle of equivalence. What is usually not so widely known is that solutions of the Schrödinger equation with harmonic potential can also be mapped to the solutions of the free Schrödinger equation. The physical understanding of this equivalence is not known as precisely as in the case of the equivalence principle. We present a geometric picture that will link both of the above equivalences with one constraint on the Eisenhart metric.

GENERALIZED VECTOR-TENSOR MODELS OF AXION ELECTRODYNAMICS IN COSMOLOGY AND ASTROPHYSICS

A.F. Shakirzyanov¹

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

The presented work studies the evolution of five interacting fields. Four of them are presented by gravitational (tensor), unit vector, pseudoscalar and electromagnetic fields; a field theoretical approach is used to describe them. Fifth component corresponds to the so-called dark fluid, which formally divided into dark energy and non-axionic dark matter; evolution of dark fluid and its interaction with field components is described phenomenologically in the framework of relativistic hydrodynamics by equations of state of the rheological type. Gravitational and unit vector field are the key elements of the theory of dynamic aether [1]. The pseudoscalar field describes the axionic part of dark matter [2]; the dark fluid contains non-axionic part of dark matter (WIMPs, ALPs, massive neutrinos, etc). The main idea of this work follows from the theory of control of dynamic systems and is that the dynamic aether regulates the state of the axion-electrodynamic system through two guiding functions. The guiding function of the first type determines the effective metric of the dynamic aether, and the guiding function of the second type determines the first minimum of the axion potential and, accordingly, the first equilibrium state of the axion field. Both guiding functions depend on the four differential invariants of the dynamic aether, due to which the idea of regulating the state of axion-electrodynamic systems is realized. Within the framework of variational formalism, a system of master field equations of the model is obtained. Applications to isotropic and anisotropic cosmological models, as well as to a static spherically symmetric model of an axionic dyon, are considered. Examples of exact solutions for various special cases are obtained and studied [3-5].

References

1. Jacobson, T. Gravity with a dynamical preferred frame / T. Jacobson, D. Mattingly // *Phys. Rev. D.* – 2001. – Vol. 64, № 2. – P. 024028-1–024028-9.
2. Peccei, R.D. CP conservation in the presence of instantons / R.D. Peccei, H.R. Quinn // *Phys. Rev. Lett.* – 1977. – Vol. 38. – P. 1440-1443.
3. Balakin, A.B. Interaction of the cosmic dark fluid with dynamic aether: parametric mechanism of axion generation in the early Universe / A.B. Balakin, A.S. Ilin, A.F. Shakirzyanov // *Symmetry.* – 2023. – Vol. 15. – P. 1824.
4. Balakin, A.B. The extended Einstein-Maxwell-aether-axion theory: Effective metric as an instrument of the aetheric control over the axion dynamics / A.B. Balakin, A.F. Shakirzyanov // *Gravit. Cosmol.* – 2024. – Vol. 30, № 1. – P. 57-67.
5. Balakin, A.B. Isotropic cosmological model with aetherically active axionic dark matter / A.B. Balakin, A.F. Shakirzyanov // *Universe.* – 2024. – Vol. 10. – P. 74.

TIME-DEPENDENT, SPHERICALLY SYMMETRIC BACKGROUND IN HORNDESKI THEORY

M.R. Sharov¹

¹ *sharov.mr22@physics.msu.ru*; Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, 60th October Anniversary Prospect, 7a, 117312 Moscow, Russia; Institute for Theoretical and Mathematical Physics, MSU, 119991 Moscow, Russia

We consider a general dynamical, spherically symmetric background in Horndeski theory. Within this framework, we analyze the stability conditions for high-energy modes and study the issue of the no-go theorem for cubic and quartic subclasses of Horndeski theory. In particular, we formulate the no-go theorem for weak dependence on one variable (time or radial) and derive its generalization to the cases which could be reduced by coordinate transformation to scenarios where the scalar field has weak dependence on one of the coordinates in the cubic subclass of Horndeski theory. Moreover, we show that a wide class of singular solutions is also prohibited within the outlined subclass of Horndeski theory. Furthermore, we explore the possibility of expanding the no-go theorem to the quartic subclass of Horndeski theory, using the method previously applied to the cubic subclass.

DISPERSION RELATIONS BEYOND THE SUPERGRAVITY HOLOGRAPHIC APPROXIMATION

H. Dimov¹

¹ *dimov@theor.jinr.ru*, *h_dimov@phys.uni-sofia.bg*; The Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR, Dubna, Moscow region, Russia; Department of Physics, Sofia University, 5 J. Bourchier Blvd., 1164 Sofia, Bulgaria

Holographic models in the conformal and in a small neighborhood of the conformal point for type IIB string theory will be considered. The quasiclassical quantization of some classes of closed string configurations in background geometries with maximum supersymmetry and those with finite temperature will serve as a method for computing anomalous dimensions of operators in holographic dual theories and testing the holographic correspondence beyond the supergravity approximation. Maldasena's hypothesis provides a motivation for this.

FINDING THE VALID GRAVITY THEORY FROM OBSERVATIONS OF BLACK HOLE SILHOUETTES

V.I. Dokuchaev¹, K.E. Prokopiev²

¹ *dokuchaev@inr.ac.ru*; Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences

² *k.prokopiev@minus.inr.ac.ru*; Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences

Nowadays the major problem in cosmology is in the choice of the valid gravity theory for interpretation of the observational data. Usually in cosmology it is used the Einstein general theory of relativity and the corresponding Friedman-Robertson-Walker equations in the strong field limit (when gravitational potential is of the order of square of the light velocity). Meanwhile, the general theory of relativity is verified and confirmed only in the weak field limit in the nearest cosmological environments. Observations of black hole images (silhouettes) opens a unique possibility for the verification (or falsification) of modified gravity theories in the strong field limit when gravitation dominates over astrophysical or cosmological factors. This is especially crucial for physical interpretation of astrophysical and cosmological observations of the far regions of the Universe and for understanding the physical origin of enigmatic dark matter and dark energy. The first visual images of supermassive black holes M87* and SgrA* have been observed recently by the Event Horizon Telescope. These images demonstrate a qualitative agreement with the general theory of relativity. In the nearest future it would be possible to quantitatively scrutinize the known modified gravity theories after construction of the Space Millimetron Observatory with nano-arcsecond angular resolution.

HABITATION OF SUSTAINABLE CIVILIZATION INSIDE SUPERMASSIVE BLACK HOLE

V.I. Dokuchaev¹, K.E. Prokopiev²

¹ *dokuchaev@inr.ac.ru*; Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences

² *k.prokopiev@minus.inr.ac.ru*; Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences

Enrico Fermi formulated the problem of "Great Silence of the Cosmos" by asking why the Super-Civilizations (SCs) did not visit the Earth. Really, the more than 10 billion years of our Galaxy existence seems to be quite enough for formation of Super-civilizations with

the admissibility of purposeful repairing of genetic errors and constructing faster-than-light spaceships with Alcubierre “warp” engines for easy traveling throughout the Galaxy.

We propose that super-civilizations inhabit inside the rotating supermassive black hole SgrA* at the centre of our Galaxy to avoid the asteroid threat and other cosmic menaces. Inside the rotating Kerr black hole there are the so-called R-regions, where there are the long living orbits for planets or cosmic ships. These orbits are also called the “third-kind” ones. The lifetime at these orbits is limited by gravitational wave emissions, is limited by gravitational wave emissions, which may be diminished or completely eliminated inside the R-region by reconstructing the spaceship into the axial symmetric solid structure around the black hole central singularity.

There are a lot of advantages to living inside black hole. At first, orbits at R-regions are invisible from the outside part of the Universe and so ensure the secure life. At second, the inhabitants will see in advance the enemy intending to plunge inside black hole. For this case there is the possibility for safe evacuation to another universe by using the one-way Einstein-Rosen bridge.

A MODEL OF AETHERICALLY INDUCED FERMION PRODUCTION IN EARLY UNIVERSE

A.O. Efremova¹

¹ anna.efremova131@yandex.ru; Kazan Federal University, Institute of Physics, Department of General Relativity and Gravitation, Kremlevskaya str. 16a, Kazan 420008, Russia

An exactly integrable phenomenological model is presented, according to which the dynamic aether coupled to the spinor field ψ opens a window for spontaneous growth of the fermion number in early Universe. Based on the FLRW isotropic homogeneous spacetime platform, it is shown explicitly that the function $S(t) = \bar{\psi}\psi$, which is associated with the number density of the spinor particles, can anomalously grow, reach its maximal value and then monotonically decrease under the influence of the Universe expansion. This process is known as spontaneous spinorization of the Universe [1].

An effective spinor mass $\langle M(t) \rangle$ is introduced as the function of cosmological time; this quantity is calculated using solutions of the Dirac equations obtained for two exactly integrable models. A hypothesis is suggested that in analogy with the thermodynamic approach the known spinor particles, such as electrons, protons, etc., can appear as the individual real particles, just when their masses (predicted by the quantum theory) coincide with the corresponding values of the effective mass $\langle M(t) \rangle$ [2].

The idea is motivated that the energy required for the growth of the fermion number is drawn from the energy reserve of the gravitational field, but the effective energy redistribution between the gravitational and spinor fields takes place exclusively due to the dynamic aether mediation.

References

1. A.B. Balakin and A.O. Efremova. Dynamic aether as a trigger for spontaneous spinorization in early Universe. Universe, 2023, 9, 481. <https://doi.org/10.3390/universe9110481>; arXiv:2305.02013

2. A.B. Balakin and A.O. Efremova, Interaction of the axionic dark matter, dynamic aether, spinor and gravity fields as an origin of oscillations of the fermion effective mass. The European Physical Journal C, Vol. 81, N 7, 674 (2021). <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-021-09341-z>; arxiv:2104.12025

COORDINATE- AND SPACETIME-INDEPENDENT QUANTUM PHYSICS

V.A. Emelyanov¹

¹ viacheslav.emelianov@rwth-aachen.de; Department of Mathematics, RWTH Aachen University, Germany

This talk aims at presenting a quantum- field-equation solution that is not only a zero-rank tensor under general coordinate transformations, but also common for anti-de-Sitter, de-Sitter, closed and open Einstein static universes. Moreover, it locally reduces to a Minkowski plane-wave solution and is non-perturbative in curvature. The former property makes it suitable for the standard applications of quantum theory in particle physics, while the latter enables then to gain insights into quantum physics in a strong-gravity regime.

DESCRIPTION OF THE GLOBAL EVOLUTION OF THE UNIVERSE BASED ON GENERALIZED SOLUTIONS OF THE COSMOLOGICAL DYNAMIC EQUATIONS

I.V. Fomin¹

¹ ingvor@inbox.ru; Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The procedure for reconstructing inflationary models of the early universe is considered based on various methods of analyzing the equations of cosmological dynamics with scalar fields based on Einstein gravity. A variational interpretation of the quasi-de Sitter stage of the evolution of the early universe is considered. A method for classifying cosmological models according to the degree of expansion in a series of the dependence of the tensor-to-scalar ratio on the spectral index of scalar perturbations is proposed.

Exact solutions of the equations of cosmological dynamics for the universe filled with a scalar field and additional material fields as an ideal barotropic fluid are proposed. It is shown that in a particular case these solutions describe the scalar field equivalent of the Λ CDM model. Based on the obtained solutions, models of the further evolution of the universe over large periods of time are proposed. Also, at the small times, generalized Friedman solutions are obtained and it is shown that the proposed models correspond to the correct transition from the stage of cosmological inflation to further post-inflationary stages.

An assessment of the characteristics of relic gravitational waves for the cosmological models under consideration is presented. The effective character of scalar fields is discussed in the context of the possible modifications of Einstein gravity as well.

COSMOLOGICAL INFLATION BASED ON THE GENERALIZED SCALAR FIELD POTENTIAL

I.V. Fomin¹, V.L. Glushkov², E.S. Dentzel³, G.D. Manucharyan⁴

¹ *ingvor@inbox.ru*; Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, p. 1

² *vladimirglushkov@yandex.ru*; Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, p. 1

³ *edentsel@yandex.ru*; Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, p. 1

⁴ *gevorgbek.manucharyan@gmail.com*; Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, p. 1; Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Universitetskij Prospekt 13, Moscow 119992, Russia

In this paper we consider a cosmological inflation model with a generalized potential based on exact solutions of the cosmological dynamics equations, which allows to implement the inflationary stage through various physical effects, such as spontaneous symmetry breaking and radiative corrections. The choice of the specific mechanism depends on arbitrary model parameters. The effective potential is derived from exact solutions of the cosmological dynamics equations, in contrast to the method based on the slow-roll approximation.

The constructed models are verified by modern constraints on cosmological perturbations parameters for super-Planckian scalar fields ϕ . It is shown that in the case of Einstein-Gauss-Bonnet gravitation it is possible to apply the proposed approach for sub-Planckian scales of the scalar field evolution.

Taking into account the non-minimal coupling impact of the scalar field and the Gauss-Bonnet scalar, the expected relic gravitational waves contribution value is limited to $r_{GB} \leq 7 \times 10^{-5}$. This value shows a significantly smaller relic gravitational waves amplitude than the modern observational constraints.

SRG/EROSITA ALL-SKY SURVEY: FROM STELLAR FLARES AND NEUTRINO SOURCES TO COSMOLOGY

M.R. Gilfanov¹

¹ IKI, MPA

After more than two years of scanning the sky the eROSITA X-ray telescope aboard SRG orbital observatory produced the best ever X-ray maps of the sky and discovered more than three million X-ray sources, of which about 20% are stars with active coronas in the Milky Way, and most of the rest are galaxies with active nuclei, quasars and clusters of galaxies. eROSITA detected over 10^3 sources that changed their luminosity by more than an order of magnitude, including about a hundred tidal disruption events. Two tidal disruption events are associated with IceCube neutrinos. SRG/eROSITA samples of quasars and galaxy clusters will make it possible to study the large-scale structure of the Universe at $z \sim 1$ and measure its cosmological parameters. I will review some of the SRG/eROSITA results in the Eastern Galactic hemisphere.

THERMODYNAMICAL PROPERTIES OF BARDEEN-TYPE BLACK HOLE IN DE SITTER SPACETIME

D.E. Groshev¹

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

In this talk I present a new model of Bardeen-type nonlinear electrodynamics and regular solution of corresponding Einstein-Maxwell equations with metric function $f(r) = 1 - \frac{2Mr^4}{(r^4+g^4)^{\frac{5}{4}}} + \frac{\Lambda r^2}{6}$. Exact expression for Hawking temperature, entropy, heat capacity are given. The issues about thermodynamical stability and p-v criticality under consideration.

MAGNETIC CATALYSIS AND RUNNING COUPLING FOR HEAVY QUARK MODEL VIA HOLOGRAPHY

A. Hajilou¹, I.Ya. Aref'eva², K. Rannu³, P. Slepov⁴, M. Usova⁵

¹ *hajilou@mi-ras.ru*; Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences, Gubkina str. 8, 119991, Moscow, Russia

² *arefeva@mi-ras.ru*; Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences, Gubkina str. 8, 119991, Moscow, Russia

³ *rannu-ka@rudn.ru*; Peoples Friendship University of Russia, Miklukho-Maklaya str. 6, 117198, Moscow, Russia

⁴ *slepov@mi-ras.ru*; Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences, Gubkina str. 8, 119991, Moscow, Russia

⁵ *usovamk@mi-ras.ru*; Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences, Gubkina str. 8, 119991, Moscow, Russia

We study the influence of the magnetic field on the first order phase transition temperature to investigate the magnetic catalysis phenomenon. For this purpose we used the “bottom-up” approach and chose 5-dim Einstein-dilaton-Maxwell holographic model with three Maxwell fields. In fact, we study the effect of new parameters, i.e. magnetic field and special anisotropy on the phase diagram of QCD.

In addition, we consider the running coupling in isotropic holographic models supported by Einstein-dilaton-Maxwell action for heavy quarks. To obtain the dependence of the running coupling constant α on temperature and chemical potential we impose boundary conditions on the dilaton field that depend on the position of the horizon. At these phase transitions, the function α undergoes jumps depending on temperature and chemical potential.

INTEGRABLE CHIRAL COSMOLOGICAL MODELS AND MODIFIED GRAVITYV.R. Ivanov¹, S.Yu. Vernov²

¹ *vsvd.ivanov@gmail.com*; Physics Department, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia

² *svernov@theory.sinp.msu.ru*; Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia

Many cosmological models, which describe the global evolution of the Universe, include scalar fields. To describe only one epoch of the Universe evolution, single-field models can be used. Using two-field models, one can explore multiple epochs or multiple physical phenomena. Models with a single scalar field nonminimally coupled to gravity can be transformed to models with a minimally coupled scalar field with a canonical kinetic term by metric and scalar field transformations. On the other hand, it is not possible to transform a model with two scalar fields nonminimally coupled to gravity to a model with two minimally coupled scalar fields and a standard kinetic part of the Lagrangian in the most general case [1]. After the metric transformation, one obtains a general relativity model with non-standard kinetic terms of scalar fields, a so-called chiral cosmological model (CCM) [2].

To construct a new integrable CCM with two fields, we start from models with nonminimally coupled scalar fields. A similar single-field integrable model proposed in Ref. [3] has an interesting feature: the Ricci scalar is an integral of motion. Recently, N -field cosmological models with the same property have been found and their integrability in the spatially flat FLRW metric have been proven [4].

We find general solutions of evolution equations in the Friedmann universe with arbitrary spatial curvature for a few such two-field integrable models in a following manner: we show that in the conformal time, the system of the evolution equations can be transformed to a Hamiltonian system of two equations. For a few two-field polynomial potentials, we integrate this system and get analytic expressions of the general solutions in terms of the Jacobi elliptic functions. After finding such solutions, we obtain two-field chiral cosmological models in the Einstein frame by the conformal transformation of the metric.

The obtained integrable CCMs have potentials represented in terms of hyperbolic functions.

The results of this work are presented in [4, 5].

References

1. Kaiser D.I. Conformal Transformations with Multiple Scalar Fields // *Phys. Rev. D.* – 2010. – V. 81. – P. 084044. – arXiv:1003.1159 [gr-qc].
2. Chervon S.V. On the chiral model of cosmological inflation // *Russ. Phys. J.* – 1995. – V. 38. – P. 539–543.
3. Boisseau B., Giacomini H., Polarski D., Starobinsky A.A. Bouncing Universes in Scalar-Tensor Gravity Models admitting Negative Potentials // *JCAP* – 2015. – V. 07. – P. 002. – arXiv:1504.07927.
4. Ivanov V.R., Vernov S.Y. Integrable Cosmological Models with an Arbitrary Number of Scalar Fields // *Physics of Particles and Nuclei* (to be published). – 2025. – arXiv:2407.05002.

5. Ivanov V.R., Vernov S.Y. New Integrable Chiral Cosmological Models with Two Scalar Fields // Phys. Rev. D (to be published). – 2024. – V. 110. – arXiv:2407.12732.

STRONG GRAVITATIONAL LENSING BY SPINING TIDAL CHARGED BLACK HOLE

R.Kh. Karimov¹, R.N. Izmailov², K.K. Nandi³

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

In this work we study the observed parameters of strong gravitational lensing caused by a spinning tidal charged black hole with a tidal charge Υ representing the imprint of the fifth dimension [1]. In [2] shown that the tidal charge can be constrained by shadow size observations using Event Horizon Telescope data. We obtain an analytical solution for the light deflection angle of STCBH and show the difference from the Kerr (without charge) and Kerr-Newman (with electric charge) black holes (KNBH). We show that the tidal charge increases the light deflection angle, while the electric charge decreases it. However, for a tidal black hole in the case when $\Upsilon = a$, i.e. when the tidal charge is equal to the rotation parameter, the light deflection angle diverges. Interestingly, for a KNBH in the case when $Q = a$, i.e. when the electric charge is equal to the rotation parameter, the light deflection angle takes finite values. In this strong deflection limit, light rays can circle the black hole several times before reaching the observer, yielding relativistic images. The obtained analytical expressions are then used to calculate the angular positions of relativistic images caused by supermassive galactic black holes. In this work, we focus on the outermost image relative to the optical axis. We show that the angular separation from the closest image to the optical axis increases with increasing angular momentum and increasing tidal charge for both prograde and retrograde orbits. However, in the case where $\Upsilon = a$, all observed strong gravitational field parameters diverge, making it impossible to observe black holes with tidal charge equal to the rotation parameter in this case.

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. A.N. Aliev and A.E. Gümrukçüoğlu, Phys. Rev. D **71**, 104027 (2005).
2. K.K. Nandi, R.N. Izmailov, R.Kh. Karimov and A.A. Potapov, Ann. Phys. **470**, 169802 (2024).

ON THE RELEVANCE OF QUANTUM CORRECTIONS TO THE MATTER STRESS-ENERGY TENSOR IN ETERNALLY EXPANDING UNIVERSES

K.A. Kazarnovskii¹

¹ *kazarnovskiy.ka@phystech.edu*; Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

We study a toy-model of continuous infinite expansion of space-time with the flat start. We use as the gravitational background a conformally flat metric with an exponentially growing factor in conformal time. We aim to clarify some properties of quantum fields in such a gravitational background. In particular, we calculate one-loop corrections to the Keldysh propagator to verify the fact of secular growth of the occupation number and anomalous quantum average in the massless scalar field theory with selfinteractions. We perform the calculation in arbitrary dimensions with the use of the Schwinger-Keldysh technique. We get a secular growth which is not of a kinetic type. We provide some results for the case of generic interaction $\frac{\lambda}{b!}\phi^b$.

CLASSICAL AND QUANTUM MECHANICS ON FLAG MANIFOLDS

A.I. Kuzovchikov¹

¹ *andrkuzovchikov@mail.ru*; ITMP MSU

We consider two related problems, i.e. the description of geodesics and the calculation of the spectrum of the Laplace-Beltrami operator on a flag manifold. We show that there exists a family of invariant metrics such that both problems can be solved simply and explicitly. In order to determine the spectrum of the Laplace-Beltrami operator, we construct natural, finite-dimensional approximations (of spin chain type) to the Hilbert space of functions on a flag manifold.

SPACE-BORNE GRAVITATIONAL WAVE DETECTOR TIANQIN: MISSION CONCEPT AND CURRENT PROGRESS OF IMPLEMENTATION

V.K. Milyukov¹

¹ Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Frontiers Science Center for TianQin, Sun Yat-sen University, Zhuhai Campus, China

TianQin is a Chinese national project of a space-based gravitational wave detector with international collaboration. The project headquarters, the TianQin Research Center, is located at Sun Yat Sen University (Guangzhou-Zhuhai). The GW detector will be constructed on three identical spacecraft, forming a giant laser interferometer in a high geocentric orbit, and aiming to record GW radiation in the 0.1 MHz – 1Hz frequency band (sources of gravitational waves in this range include supermassive black holes in galactic nuclei and binary systems).

The project implementation involves the development of novel precision techniques for inter-satellite range measurements (transponder-type laser interferometry) and compensating non-gravitational disturbances ("drag-free satellite"), alongside the creation of innovative analytical methods for modeling spacecraft orbits, space constellation control, data processing and analysis.

The TianQin mission is expected to be launched around 2035. The initial phase of the detector aims to be able to detect with a high degree of confidence a signal from a selected most promising gravitational radiation source within a few months of observations. The mission was proposed in 2014 and has already passed a couple of major milestones.

MULTI-OUTPUT BROADBAND FORCE DETECTION WITH POST PROCESS SUBTRACTION OF QUANTUM BACK ACTION

A.I. Nazmiev¹, S.P. Vyatchanin

¹ nazmiev.ai15@physics.msu.ru; Faculty of Physics, M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

Gravitational wave detectors, one of the most precise measurement devices, are based on the optomechanical interaction between the light and the test mass. They are capable to resolve the displacement with the order of magnitude of 10^{-19} m. [1] Their sensitivity is limited by the quantum back action (QBA). Modern optomechanical sensors have sensitivity that is close or exceeds the standard quantum limit (SQL) [2] of the force measurement which takes place when the measurement error is equal to the QBA.

Various QBA evasion techniques have been proposed, such as variational measurement, stroboscopic measurement and speedmeter based measurement. These techniques are based on the concept of quantum non-demolition (QND) observables and QND measurements [3]. Quantum mechanics free subsystems (QMFS) is a generalization of this idea [4]. It's a set of QND observables, measurement of which does not perturb other observables from the set.

In this work we analyze a measurement scheme based on QMFS [5]. It is based on the interaction of three equidistant optical modes with a mechanical oscillator. It allows broadband resonant force sensing with sensitivity better than SQL. We propose a possible design for experimental realization and address the difficulties such as frequency matching of the modes.

The research has been supported by Theoretical Physics and Mathematics Advancement Foundation "BASIS" (Contract No. 22-1-1-47-1).

References

1. D. Martynov *et al.*, "Sensitivity of the Advanced LIGO detectors at the beginning of gravitational wave astronomy," *Physical Review D*, vol. 93, p. 112004, 2016.
2. D. Mason, J. Chen, M. Rossi, Y. Tsaturyan, and A. Schliesser, "Continuous force and displacement measurement below the standard quantum limit," *Nature Physics*, vol. 15, pp. 745–749, 2019.
3. V. B. Braginsky, Y. I. Vorontsov, and K. S. Thorne, "Quantum nondemolition measurements," *Science*, vol. 209, pp. 547–557, 1980.

4. M. Tsang and C. Caves, “Evading Quantum Mechanics: Engineering a Classical Subsystem within a Quantum Environment,” *Physical Review X*, vol. 2, p. 031016, 2012.

5. S.P. Vyatchanin, A.I. Nazmiev, and A.B. Matsko, “Broadband coherent multidimensional variational measurement,” *Physical Review A*, vol. 106, p. 053711, 2022.

BLACK HOLE UNIQUENESS THEOREMS IN GAUGED SUPERGRAVITIES

S.G. Ovchinnikov¹

¹ Институт теоретической и математической физики при МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

The classification of anti de Sitter black holes is an open problem of central importance in holography. In this talk, I will present new advances in classification of supersymmetric solutions to five-dimensional gauged supergravity coupled to arbitrary number of Abelian vector multiplets. In particular, we prove a black hole uniqueness theorem within a subclass of solutions with biaxial symmetry and a certain twistor structure. This subclass includes all known solutions of this theory, both analytic and numerical.

The logic of the proof is based on the near-horizon data only and is agnostic of the asymptotic region. We, therefore, deduce that a classification of CFT states in the UV of the holographic correspondence is possible to derive by deep IR arguments.

BLACK HOLES IN SEMICLASSICAL $f(R)$ GRAVITY WITH EXTRA DIMENSIONS

A.A. Popov¹, S.G. Rubin²

¹ apopov@kpfu.ru; Kazan Federal University, 18 Kremlyovskaya street, Kazan 420008, Russia

² sergeirubin@list.ru; National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 31 Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russia

In this work we obtained the solution of the equations of the semiclassical $f(R)$ theory of gravitation ($c = \hbar = 1$)

$$-\frac{1}{2}f(R)\delta_A^B + (R_A^B + \nabla_A \nabla^B - \delta_A^B \square) \frac{d f(R)}{dR} = \frac{8\pi}{m_D^2} \langle T_A^B \rangle, \quad (1)$$

describing a black hole in $(4 + n)$ -dimensional spacetime

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2M}{r}\right) dt^2 - \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{2M}{r}\right)} - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) - L_0^2 d\Omega_n^2, \quad (2)$$

where M is the integration constant, $A, B, C, \dots = 1, 2, \dots, 4 + n$, $f(R)$ is an arbitrary function of scalar curvature R , $m_D - (4 + n)$ - dimensional Planck mass, ∇_A - denotation of the covariant derivative, R_A^B - Ricci tensor, $\square = g^{AB} \nabla_A \nabla_B$. The additional space is assumed to be an n - dimensional sphere of radius L_0 , much smaller than the characteristic scale of curvature l ($L_0 \ll l$) of the four-dimensional part of space

The right part of equations (1) describes the expectation value of the stress-energy tensor operator of the quantized matter fields. In the limit $l_{\text{pl}} \ll L_0$ the structure of this tensor has the form (see Popov A., Phys. Rev. D (2001), V. 64, 104005)

$$\langle T_A^B \rangle = \frac{l_{\text{pl}}^2}{L_0^4} K_A^B \left(1 + O(L_0^2/l(r)^2) \right), \quad (3)$$

where in the coordinates (2)

$$K_A^B = \text{diag} \left(K_t^t, K_t^t, K_t^t, K_t^t, K_5^5, \dots, K_5^5 \right), \quad (4)$$

and K_t^t and K_5^5 are constant values. The solution (2) is obtained in the case of neglecting the small terms of the expansion (3) and is possible with the following relations between parameters $R(r) = R_0, L_0, f(R_0)$ and $\left. \frac{df}{dR} \right|_{R=R_0}, \left. \frac{df}{dR} \right|_{R=R_0}$

$$f(R_0) = -\frac{16\pi}{m_D^2} \frac{R_0^2 K_t^t}{n^2(n-1)^2}, \quad (5)$$

$$\left. \frac{df}{dR} \right|_{R=R_0} = \frac{8\pi}{m_D^2} \frac{R_0 (K_5^5 - K_t^t)}{n(n-1)^2}, \quad (6)$$

$$L_0^2 = \frac{n(n-1)}{R_0}. \quad (7)$$

In the case of quadratic gravity $f(R) = aR^2 + R + c$ these expressions will take the form

$$L_0^2 = \frac{n(n-1)}{R_0} = \frac{8\pi}{m_D^2} \frac{(K_5^5 - K_t^t)}{(n-1)} - 4a, \quad (8)$$

$$c = \frac{(n-1)^2 \left(an^2(n-1)^2 + \frac{8\pi}{m_D^2} (K_t^t(n-2) - nK_5^5) \right)}{4 \left(an(n-1)^2 + \frac{4\pi}{m_D^2} (K_t^t - K_5^5) \right)^2}. \quad (9)$$

Note that taking into account the following terms of the expansion (3) leads to the dependence of the radius of the extra space L_0 , as well as the four-dimensional Planck mass and the four-dimensional cosmological constant (under the adopted assumptions, the theory can be reduced to Einstein's four-dimensional theory of gravitation) on the radial coordinate.

SPONTANEOUS BRANES FORMATION

A.A. Popov¹, S.G. Rubin²

¹ *apopov@kpfu.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

We present a study of brane formation in six-dimensional space. Initially, the existence of brane(s) is not assumed. However, the solution to the generalized Einstein equations reveals that there are a set of metrics describing two static branes even in the absence of matter fields. It is shown that massive particles are attracted to branes due to the form of the warp factor, while the transition between branes is suppressed.

It is shown that the communication between charged particles located on different branes provides by photons.

The Higgs field distribution between the branes is studied. The values of the 4D physical parameters are different at both branes depending on the metric near the branes.

We also found a non-trivial effect of decompactification of the extra space when the Hubble parameter is varied.

LINEAR PERTURBATIONS IN THE OSCILLATING SCALAR FIELD DARK MATTER MODEL

V.A. Popov¹

¹ Institute of Physics, Kazan Federal University, Kremlevskaya str. 18, Kazan 420008, Russia

Coherently oscillating scalar fields act as cold dark matter in the expanding Universe. In relativistic cosmology, this model is primarily reasoned by the evolution of a background scalar field and its subhorizon perturbations in the matter dominated era. A corresponding relativistic description is usually based on the *ansatz* that the perturbations oscillate in the same way as the background field and on time averaging to find the oscillation amplitudes.

In contrast, the present approach makes no initial assumptions about the perturbation behavior and does not use time averages.

It is shown that although the previous treatments are valid only well inside the Hubble scale, the scalar field reproduces the cold dark matter scenarios on the superhorizon scales.

It is shown that in the radiation dominated stage there is a short wavelength cutoff of the density perturbations of the scalar field that can explain a deficit of dwarf galaxies when dark matter consists of low mass scalar particles.

SLOW-ROLL IN THE EINSTEIN-GAUSS-BONNET GRAVITY

E.O. Pozdeeva¹

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

We consider the Einstein-Gauss-Bonnet gravity models in different slow-roll approximations. If we introduce the Gauss-Bonnet term multiplied by a function of the scalar field, such function can be named 'Gauss-Bonnet coupling'. In the case of minimal-coupled gravity with scalar field the Gauss-Bonnet coupling and potential allow to re-

produce inflationary scenarios. We study exponential type of potential and the power-low potential. One of the recent example of power-low models are models with quadratic and quartic potentials $V = V_0\phi^n$, where the Gauss-Bonnet coupling is proportional to $(V + \lambda)^{-1}$, λ is a positive constant. At special parameter values the models do not contradict to modern observations.

MAXIMAL ANIZOTROPIC SOLUTION FOR EINSTEIN-DILATON MODELS WITH 4 MAXWELL FIELDS IN $D = 5$

K.A. Rannu¹, I.Ya. Aref'eva², P.S. Slepov³

¹ *rannu_ka@pfur.ru*; Peoples Friendship University of Russia (PFUR), Moscow; Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences (MIRAS), Moscow

² Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences (MIRAS), Moscow

³ Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences (MIRAS), Moscow

In recent literature on holographic QCD, the consideration of the five-dimensional Einstein-dilaton-Maxwell models has played a crucial role. Typically, one Maxwell field is associated with the chemical potential, while additional Maxwell fields are used to describe the anisotropy of the model. A more general scenario involves up to four Maxwell fields. The second field represents spatial longitudinal-transverse anisotropy, while the third and fourth fields describe anisotropy induced by an external magnetic field.

We consider an ansatz for the metric characterized by four functions at zero temperature and five functions at non-zero temperature. Maxwell field related to the chemical potential is treated with the electric ansatz, as is customary, whereas the remaining three Maxwell fields are treated with a magnetic ansatz.

We demonstrate that for the fully anisotropic diagonal metric only six out of the seven equations are independent. One of the matter equations – either the dilaton or the vector potential equation – follows from the Einstein equations and the remaining matter equation. This redundancy arises due to the Bianchi identity for the Einstein tensor and the specific form of the stress-energy tensor in the model. A procedure for solving this system of six equations is provided. This method generalizes previously studied cases involving up to three Maxwell fields. In the solution with three magnetic fields our analysis shows, that the dilaton equation is a consequence of the five Einstein equations and the equation for the vector potential.

STRUCTURE OF THE COVARIANT CUBIC VERTICES FOR IRREDUCIBLE HS FIELDS WITH INTEGER AND HALF-INTEGERS SPINS ON FLAT BACKGROUNDS

A.A. Reshetnyak¹

¹ *reshet@tspu.edu.ru*; Tomsk State Pedagogical University, National Research Tomsk Polytechnic University

We consider interacting massless and massive theory of higher spin fields (as possible candidates for massive particles in the Dark Matter problem) within the BRST approach

with incomplete BRST operator, and, firstly construct a (off-shell) general Lagrangian covariant cubic interaction vertices corresponding to the irreducible fields with higher integer and half-integer spins on the d -dimensional flat spacetime. To this end, we develop a concept of deformation Noetherian procedure of free gauge theory on a base of BRST approach with incomplete BRST operator suggested for fermionic fields in [1], following our results in Refs. [2], [3], [4] and covariantize the results obtained by R. Metsaev [5] within light-cone (Dirac) approach in terms of only physical degrees of freedom for fermionic and bosonic fields.

As compared to previous works on cubic vertices for the fields with half-integer spins, we take into account traceless and γ -traceless constraints, imposed consistently off-shell and use the incomplete BRST operator acting on respective Hilbert space ,

$$Q_c = q_0 t_0 + \eta_0 l_0 + \eta_1^+ l_1 + l_1^+ \eta_1 + \iota(\eta_1^+ \eta_1 - q_0^2) \mathcal{P}_0, \quad (1)$$

which does not include γ -trace \widehat{T}_1 constraint and its consequence with trace constraint $\widehat{L}_{11} = (1/2)\widehat{T}_1^2$ (and its dual \widehat{T}_1^+ , \widehat{L}_{11}^+ necessary to describe together with differential constraints (Dirac t_0 , d;Alambert l_0 , divergence l_1 and its dual l_1^+) irreducible representations of Poincare group with half-integer spins $n + 1/2$. The incomplete BRST operator Q_c^B for HS field with integer spin does not involve Dirac operator $t_0 = \iota\gamma^\mu \partial_\mu$ and its zero-mode Grassmann-even ghosts q_0, p_0 . The incomplete BRST operator (used here to find gauge-invariant Lagrangian formulation for initial non-Lagrangian equations) depends additionally, on the Grassmann-odd ghost operators $\eta_0, \eta_1^+, \eta_1, \mathcal{P}_0, \mathcal{P}_1, \mathcal{P}_1^+$.

As a result, the cubic vertices is firstly covariantized and found in the Lagrangian form within BRST approach with incomplete BRST operator given as three-vectors in oscillator representation $|V^{(3)}\rangle_{(s)_3}^{(m)_3}$ with preserving the irreducibility for the fields on the interacting level with the same (as for dynamics of free fields) numbers of physical degrees of freedom for each copy of interacting higher spin fields incorporated into field vectors .from the respective Fock space. The operator of cubic vertex satisfies to the properties of BRST closedness and to be γ -traceless with respect to the two first group of oscillators and traceless with respect to 3-rd group of oscillators corresponding to integer spin field

$$(Q_c^{(1)} + Q_c^{(2)} + Q_c^{(3)B})|V^{(3)}\rangle_{(s)_3}^{(m)_3} = 0, \quad (\widehat{T}_1^{(1)}, \widehat{T}_1^{(2)}, \widehat{L}_{11}^{(3)})\sigma^{(i)}|V^{(3)}\rangle_{(s)_3}^{(m)_3} = 0, \quad (2)$$

(for $i = 1, 2, 3$ enumerating the copy of fields, masses $(m)_3 = (m_1, m_2, m_3)$ and spins $(s)_3 = (n_1 + 1/2, n_2 + 1/2, s_3)$).

We found the solutions of these equations for massless case. The solutions for the cubic vertices within approach with complete BRST operator maybe also developed in a straightforward way.

References

1. A.A. Reshetnyak, JHEP 1809, 104 (2018).
2. I.L. Buchbinder, A.A. Reshetnyak, Phys. Lett. B 820 (2021) 136470,
3. I.L. Buchbinder, A.A. Reshetnyak, Physics of Particles and Nuclei, 54, 1066 (2023).
4. I.L. Buchbinder, A.A. Reshetnyak, Symmetry 15, 2124 (2023),
5. R.R. Metsaev, Nucl. Phys. B 859 (2012) 13.

SOLITONS IN THE SKYRME—FADDEEV CHIRAL MODEL AND QUANTUM MECHANICS

Yu.P. Rybakov¹

¹ *soliton4@mail.ru*; P. Lumumba Peoples' Friendship University of Russia

We consider the essence of the well-known discussion between Bohr and Einstein (1935) which concerned the completeness of quantum mechanics. If one followed Bohr, then the wave function would give the probability description of an individual particle. However, Einstein considered the wave function as an instrument for describing the statistical ensemble of identical particles-solitons. On the other hand, Wiener found the special α -representation of quantum mechanics for which the wave function appeared to be an element of the random Hilbert space with the normal dispersion. This fact proves the equivalence of Bohr and Einstein positions, the central limiting theorem being taken into account. Moreover, we show that within the scope of the Skyrme—Faddeev chiral model particles can be considered as self-gravitating solitons. Therefore, we infer that for island systems with the plain asymptotic space-time quantum mechanics ensues from Einstein gravity equations.

SPINOR FIELD IN COSMOLOGY WITH LYRA'S GEOMETRY

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, orcid: 0000-0003-2812-8930

Shortly after Einstein proposed his famous theory of gravity, Weyl in an attempt to unify gravitation and electromagnetic field, introduced a generalization of Riemannian Geometry [1]. Weyl theory was not taken seriously as it contradicted some well-known observational result. In 1951 Lyra proposed a modification of Riemannian geometry which bears a close resemblance of Weyl geometry [2]. But unlike Weyl geometry, in Lyra's geometry the connection is metric preserving as in Riemannian geometry. In doing so he introduced a gauge function into the structureless manifold. This theory was further developed by Sen [3], Halford [4], Sen and Dunn [5], Sen and Vanstone [6] and many others. Recently Lyra's geometry is being used extensively in cosmology [7, 8].

In this report within the scope of a Bianchi type-I anisotropic cosmological model with Lyra's geometry we study the role of a nonlinear spinor field in the evolution of the Universe. Earlier we have considered the nonlinear spinor field in Bianchi type I geometry and found that the presence of nontrivial non-diagonal components of the energy momentum tensor leads to either the elimination of spinor field nonlinearity and spinor mass or the space-time anisotropy. In the present report we will discuss the role of Lyra's geometry and see whether it can remove these severe restrictions of space-time geometry or spinor field itself. As the spinor field is very sensitive to geometry we hope that it may underwent some changes. Though spinor affine connection and Einstein equations are being changed, the final results remains almost the same at least in this model.

References

1. H. Weyl, *Gravitation and Electricity*, Preuss. Akad. Wiss. Berlin, 465 (1918)
2. G. Lyra, *Math. Z.* **54**, 52 (1951)
3. D. K. Sen, *Z. Physik.* **149**, 311 (1957)
4. Halford J. *Math. Phys.* **13**, 1699 (1972)
5. D.K. Sen and K.A. Dunn, *J. Math. Phys.* **12**, 578 (1971)
6. D.K. Sen and J.R. Vanstone, *J. Math. Phys.* **13**, 990 (1972)
7. A. Beesham, *Aust. J. Phys.* **41**, 833 (1988)
8. A.S. Jahromi and H. Moradpour, *Int. J. Mod. Phys. D* **27** 1850024 (2018)

TOPOLOGICAL VACUUM DENSITIES INDUCED BY COSMIC STRINGS IN ANTI-DE SITTER SPACETIME

A.A. Saharian¹

¹ saharian@ysu.am; Institute of Physics, Yerevan State University, 1 Alex Manoogian Street, 0024 Yerevan, Armenia

Anti-de Sitter spacetime is among the most popular gravitational backgrounds in quantum field theory in curved spacetimes. We present the results of investigations for the vacuum expectation values of local physical characteristics for scalar, fermionic and electromagnetic vacua around a cosmic string type topological defect in anti-de Sitter spacetime. As such characteristics, the field squared, current density and energy-momentum tensor are studied. The topological contributions in the corresponding expectation values are separated and their behavior in asymptotic regions of the parameters is investigated. Applications are discussed in Randall-Sundrum type braneworld models with general number of spatial dimensions.

SOME FEATURES OF THE EXTENDED PHASE SPACE APPROACH TO QUANTIZATION OF GRAVITY

T.P. Shestakova¹

¹ shestakova@sfedu.ru; Department of Theoretical and Computational Physics, Southern Federal University, Sorge St. 5, Rostov-on-Don 344090, Russia

In this talk, I would like to emphasize those features of the extended phase space approach to quantization of gravity that distinguish it among other approaches. First of all, it is the conjecture about non-trivial topology of the Universe which was supported by Wheeler, Hawking and other founders of quantum gravity. However, this conjecture appears to be in contradiction with the assumption about asymptotic states that is used

in the path integral quantization of gauge theories. The presence of asymptotic states ensures gauge invariance of the theory, but, in the case of gravity, the states exist only in asymptotically flat spacetimes, that limits possible topologies. Then we have two ways. The first way is to consider only asymptotically flat spacetimes. In fact, it reduces quantum gravity to quantum field theory on a given background. The second way is to reject the assumption about asymptotic states. In the case of non-trivial topology, one cannot cover the whole spacetime with the only coordinate system. One has to introduce various reference frames fixed by different gauge conditions in different spacetime regions. The Hamiltonian describing a gravitating system will depend on gauge conditions. It leads to the conclusion that unitary evolution may be broken down. This conclusion cannot be obtained in approaches based on the Wheeler – DeWitt equation or making use of the assumption about asymptotic states. The assessment of this conclusion is given.

PERTURBATIONS IN HORNDESKI THEORY ABOVE DIFFERENT COSMOLOGICAL BACKGROUNDS

A.M. Shtennikova¹

¹ *shtennikova@inr.ru*; Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, 60th October Anniversary Prospect, 7a, 117312 Moscow, Russia; Institute for Theoretical and Mathematical Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

It is well-known that the construction of a fully stable solution in Horndeski theory is severely limited by the so-called no-go theorem. In the past, various techniques have been employed to circumvent the constraints imposed by this theorem.

We present a novel approach to constructing stable solutions in general Horndeski theories. We studied a scenario where the previously considered unitary gauge turned out to be singular. Based on this, we constructed a spatially flat, stable universe with a bounce that is described by General Relativity with a non-canonical scalar field. Subsequently, we assessed the stability of this solution with respect to small background anisotropies. To do this, we constructed an action for perturbations over a background of Bianchi type I, and estimated the impact of deviations from an isotropic background on our previously established stable solution.

BOUNCING SOLUTIONS IN $F(T)$ GRAVITY

M.A. Skugoreva¹, A.V. Toporensky²

¹ *masha-sk@mail.ru*; Kazan Federal University, Kremlevskaya 18, Kazan, 420008, Russia

² *atopor@rambler.ru*; Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia

We consider certain aspects of cosmological dynamics of a spatially curved Universe in $f(T)$ gravity. Local analysis allows us to find conditions for bounces and for static solutions; these conditions appear to be in general less restrictive than in general relativity. We also provide a global analysis of the corresponding cosmological

dynamics in the cases when bounces and static configurations exist, by constructing phase diagrams. These diagrams indicate that the fate of a big contracting Universe is not altered significantly when bounces become possible, since they appear to be inaccessible by a sufficiently big Universe.

ENERGY LOSS IN HOLOGRAPHIC MODELS WITH EXTERNAL MAGNETIC FIELD AND SPATIAL ANISOTROPY

P.S. Slepov¹

¹ slepov@mi-ras.ru; Steklov Mathematical Institute, Russian Academy of Sciences, Gubkina str. 8, 119991, Moscow, Russia

Energy loss for heavy quark moving through anisotropic hot dense quark-gluon plasma in external magnetic field is calculated within holographic approach. We calculate the energy loss by estimation of the spatial Wilson loop behaviour using the effective potential technique. The results for spatial string tensions are compared with drag forces calculations in fully anisotropic models. We obtain the phase transition for string tension between two different string configurations: calculated at the horizon and at the dynamical wall. We consider holographic models for heavy quarks supported by the Einstein-dilaton-three-Maxwell action with different warp-factors in the metrics. These models describe nonzero temperature, chemical potential, external magnetic field and spatial anisotropy. For the models with inverse/direct magnetic catalysis, we obtain “inverse/direct magnetic catalysis effect” for spatial Wilson loop phase transition: temperature of this phase transition decreases/increases with magnetic field increasing, correspondingly.

The talk is based on papers I.Y. Aref’eva, K. Rannu and P. Slepov, JHEP 07, 161 (2021) [2011.07023]; I. Y. Aref’eva, K. Rannu and P. Slepov, Theoret. and Math. Phys., 206:3 (2021) [arXiv:2012.05758]; I. Y. Aref’eva, A. Hajilou, K. Rannu and P. Slepov, Eur. Phys. J. C 83, 12, 1143 (2023) [arXiv:2305.06345].

BLACK HOLE: ACCRETION VS HAWKING RADIATION IN THE EXPANDING UNIVERSE

L.A. Solnyshko¹, E.V. Mikheeva²

¹ solnyshko.la@phystech.edu; Moscow Institute of Physics and Technology, Institutskiy per. 9, Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia; Astro Space Center of P.N. Lebedev Physical Institute, Profsoyuznaya 84/32, Moscow, 117991, Russia

² helen@asc.rssi.ru; Astro Space Center of P.N. Lebedev Physical Institute, Profsoyuznaya 84/32, Moscow, 117991, Russia

Primordial black holes (PBH) are black holes that may have formed shortly after the birth of the Universe. Unlike astrophysical black holes, which are formed as a result of the gravitational collapse of a massive star, primordial black holes are born as a result

of the collapse of density inhomogeneity in the Universe. For many years, primordial black holes have remained a viable candidate for dark matter, a suggestion that was also made following the detection of gravitational waves by the LIGO. In 2022, the James Webb Space Telescope discovered massive early galaxies. The PBHs have been put forward as an explanation for their existence.

In this paper, we investigated the evolution of the mass spectrum of primordial black holes (PBHs) in the expanding Universe under the action of Bondi-Hoyle-Lyttleton accretion and Hawking radiation. For this paper, the initial mass spectrum of primordial black holes was assumed to be independent of mass.

We also studied the critical mass of primordial black holes for different stages of the Universe: the radiation-dominated epoch, the matter-dominated epoch, and the dark matter-dominated epoch. The importance of these values is due to the fact that the energy formed after the evaporation of primordial holes can affect further processes in the Universe. It turned out that after the radiation-dominated epoch, all primordial black holes with a mass of up to $\sim 10^{11.33}$ g evaporated, and after the dust stage - up to $\sim 10^{14.14}$ g. Also, through the analysis of theoretical calculations, it was revealed that Bondi-Hoyle-Lyttleton accretion does not have a significant effect on evaporation due to the strong dominance of the processes under consideration at different initial masses. These results are in good agreement with J. H. MacGibbon and B. R. Webber "Quark- and gluon-jet emission from primordial black holes: The instantaneous spectra that suggests that photons contribute a quarter of the total power to Hawking radiation.

A COSMOLOGICAL BOUNCE 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.

BILINEAR CURRENTS IN 4D HIGHER-SPIN THEORY

Yu.A. Tatarenko¹

¹ tatarenko.iua@phystech.edu; LPI RAS, MIPT

Present talk is based on works [1, 2].

Unfolded formalism developed by Vasiliev is an efficient approach to the higher-spin (HS) theory (see [3] and references therein for the details). Unfolded description of dynamical system includes *unfolded equations* which encode not only dynamical equations but also equations that express *auxiliary* fields via derivatives of *dynamical* fields. According to lemma formulated in [4], dynamical fields, dynamical equations and differential gauge symmetries are described by cohomology groups of operator σ_- appearing in the unfolded equations.

The afore-mentioned lemma is a powerful tool for analysis of unfolded systems (see e.g. [5]). In the present work the σ_- -cohomology technique is applied to the problem of bilinear HS currents classification. Conservation laws for the currents can be rewritten in the form of unfolded equations, thus the statement about σ_- -cohomology can be adopted to this case: cohomology of σ_- describe conserved currents, conservation laws and differential gauge symmetries of currents. The respective cohomology groups of σ_- were calculated in the case of 4d HS theory. The correspondence between obtained classification of bilinear HS currents and the known classification of cubic Lagrangian vertices [6, 7] was predictably established.

Construction discussed above provides no opportunity of fixing the coupling constants of the currents. This can be done with the help of the non-linear HS theory (Vasiliev theory). The perturbative analysis at the second order shows that non-linear equations induce the bilinear current made of fields of spins s_1 and s_2 in Fronsdal equations for spin- s field of the following structure:

$$J = g_1 J_{\text{even}}^{[s]+[s_1]+[s_2]-2\min\{s, s_1, s_2\}} + g_2 J_{\text{even}}^{[s]+[s_1]+[s_2]} + g_3 J_{\text{odd}}^{[s]+[s_1]+[s_2]}, \quad (1)$$

where the superscripts and the subscripts refer to the derivatives number and to the parity, respectively. Expression (1) includes all the possible types of bilinear HS currents (and contributions of all types of cubic vertices). Vasiliev theory in AdS_4 has one free complex parameter $\eta = |\eta|e^{i\vartheta}$, and the coupling constants in (1) are expressed via this parameter: $g_1 = |\eta|^2$, $g_2 = |\eta|^2 \cos 2\vartheta$ and $g_3 = |\eta|^2 \sin 2\vartheta$.

References

1. Y. A. Tatarsenko and M. A. Vasiliev, “Bilinear Fronsdal currents in the AdS₄ higher-spin theory,” *JHEP*, vol. 07, p. 246, 2024.
2. Y. A. Tatarsenko (in preparation).
3. M. A. Vasiliev, “On Conformal, SL(4,R) and Sp(8,R) Symmetries of 4d Massless Fields,” *Nucl. Phys. B*, vol. 793, pp. 469–526, 2008.
4. O. V. Shaynkman and M. A. Vasiliev, “Scalar field in any dimension from the higher spin gauge theory perspective,” *Theor. Math. Phys.*, vol. 123, pp. 683–700, 2000.
5. O. A. Gelfond and M. A. Vasiliev, “Higher-Rank Fields and Currents,” *JHEP*, vol. 10, p. 067, 2016.
6. R. R. Metsaev, “Light-cone gauge cubic interaction vertices for massless fields in AdS(4),” *Nucl. Phys. B*, vol. 936, pp. 320–351, 2018.
7. E. Joung and M. Taronna, “Cubic interactions of massless higher spins in (A)dS: metric-like approach,” *Nucl. Phys. B*, vol. 861, pp. 145–174, 2012.

LUMINAL EXTENSIONS OF HORNDESKI THEORY AND BEYOND

M. Valencia-Villegas¹

¹ mvalenciavillegas@itmp.msu.ru; Institute For Theoretical and Mathematical Physics, Moscow State University

The application of Horndeski theory for late time cosmology is heavily constrained by the strict coincidence in the speed of propagation of gravitational and electromagnetic waves since the event GW170817. These constraints presuppose that the minimally coupled photon is not modified, not even at the scales where General Relativity (GR) may need modification. We show simultaneous modifications of GR and electromagnetism, inspired by Kaluza-Klein compactifications, such that the gravitational waves are *automatically luminal*. This holds without particular choices of scalar potentials $G_4(\pi, X)$, $G_5(\pi)$ in Horndeski theory and more generally, in some subclasses of DHOST IA.

This report is mainly based on 2405.02281 and 2408.04626.

HOLOGRAPHIC APPROACH TO THE LIGHT QUARKS RUNNING COUPLING: ISOTROPIC CASE

M.K. Usova¹

¹ usovamk@mi-ras.ru; Steklov Mathematical Institute of RAS

We investigate the running coupling behavior in a holographic isotropic model of light quarks supported by Einstein-Maxwell-dilaton action. In order to take into account the QCD phase structure for the light quarks, we apply different dilaton boundary conditions

depending on the black hole horizon. One of the boundary conditions is consistent with lattice calculations of string tension between quarks at zero chemical potential, other one corresponds to the dilaton field vanishing at the horizon. It is shown that the choice of boundary condition effects on the coupling in general and only one choice represents its proper behavior. It is also revealed that at the 1-st order phase transition line the coupling undergoes jumps depending on temperature and chemical potential.

PRODUCTION OF PRIMORDIAL BLACK HOLES IN INDUCED GRAVITY MODELS

S.Yu. Vernov¹, E.O. Pozdeeva²

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

² pozdeeva@www-hep.sinp.msu.ru; Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119991, Russia

The hypothesis of the existence of primordial black holes (PBH) is supported to the increasing amount of direct and indirect observations of black holes with masses beyond the astrophysical range, the occurrence of which is not described by models of stellar collapse. The possibility that a significant fraction or even the totality of the dark matter is not a new form of matter but consists of PBHs is actively discussed [1–3].

PBHs may have formed from the gravitational collapse of density inhomogeneities, generated during inflation [3]. Their abundance and mass can be related to features of the inflationary spectrum of curvature perturbations. A large amplification of the amplitude of the inflationary spectrum at scales shorter than those probed by CMB is necessary in order for perturbations to collapse and form PBHs during the radiation domination era.

In this talk, we discuss the conditions for PBH formation that can be created in both one-field and two-field inflationary models.

In one-field models, a finely tuned inflationary potential is required in order to achieve the desired level of amplification. This fine-tuning imposes severe constraints on the evolution of the inflaton field and constructing models of inflation that lead to the desired scalar power spectrum can be challenging. We employ the superpotential approach to reconstruct the necessary features of the inflaton potential for driving inflation and generating the desired curvature perturbations. We apply this technique to one-field induced gravity models [4].

We also propose a two-field inflationary model with the induced gravity term. By using the conformal transformation of the metric, we get the chiral cosmological model with two scalar fields. We demonstrate that the constructed inflationary model do not contradict to the recent observation data and is suitable for PBH formation. The estimation of PBH masses allows to consider PBHs as dark matter candidates [5]. 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.

References

1. A. D. Dolgov, *Usp. Fiz. Nauk* **188** (2018) 121, [arXiv:1705.06859](https://arxiv.org/abs/1705.06859).

2. B. Carr and F. Kuhnel, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* **70** (2020) 355, *arXiv:2006.02838*.
3. O. Özsoy and G. Tasinato, *Universe* **9** (2023) 203, *arXiv:2301.03600*.
4. A. Yu. Kamenshchik, E. O. Pozdeeva, A. Tribolet, A. Tronconi, G. Venturi and S. Yu. Vernov, *Phys. Rev. D* **110** (2024) 104011, *arXiv:2406.19762*.
5. E. O. Pozdeeva and S. Yu. Vernov, *arXiv:2407.00999*.

MODELS OF FORMATION AND EVAPORATION OF REGULAR BLACK HOLES

V.D. Vertogradov¹

¹ *vdvertogradov@gmail.com*; Physics Department, Herzen Pedagogical University of Russia

General relativity predicts the existence of black holes. These objects, according to Penrose's theorem, must contain a singularity in the center. The existence of a singularity indicates that general relativity can no longer be the theory that describes such dense and small objects. In this regard, the interest of the scientific community is increasingly turning towards the existence of regular black holes. In this work, we constructed a model of regular black hole supported by Hagedorn fluid. Models of the formation and evaporation of this black hole, as well as a number of other models with an arbitrary equation of state, were also considered. We also establish the connection between energy conditions and the behavior of the apparent horizon and showed that the fulfillment or violation of energy conditions has a connection with the shadow of a black hole, and therefore can be observed.

LIGHT TRANSPORT AND IMAGES OF COMPACT OBJECTS IN EFFECTIVE GEOMETRY, SOURCED BY NED

A.V. Vorokhov¹, D.E. Groshev²

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

² *groshevdmir1@mail.ru*; Kazan Federal University, Institute of Physics, Department of Relativity

In light of the recent findings from the Event Horizon Telescope (EHT) Collaboration [1] and other observational projects, it is promising to validate models of nonlinear electrodynamics from observations of compact objects such as black holes, wormholes, and neutron stars. These objects are believed to have some of the strongest electromagnetic fields in nature, making them intriguing candidates for testing these models.

Since any physical observation is based on the registration of radiation or particles (of any kind), it is essential to simulate the transport of particles and light in strong gravitational fields in the vicinity of such objects in order to predict observable data for gravitationally compact objects. Currently, there are several state-of-the-art numerical solutions available for this purpose. An overview of these solutions has been conducted in the context of verifying the consistency of the EHT observations [2].

Despite the effectiveness of these solutions, they are difficult to modify for application when the spacetime geometry is altered by NED. As shown by Novello [3], in the domain of NED, the motion of light rays should be governed by effective metrics.

To address this, we have developed our own Python module called `bhtrace` [4], which is computationally less effective than the aforementioned codes but can be easily modified for application in the realm of nonlinear electrodynamics and other modified spacetime geometries. We have validated this module on two tasks for which exact solutions are known: the motion of light in flat space and in the Schwarzschild metric. In the next stage, we have modeled light transport and images of thin accretion disks for static black holes and wormholes under several models of nonlinear electrodynamics.

References

1. Akiyama K. et al. First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. VII. Polarization of the Ring // *The Astrophysical Journal Letters*. – 2024. – V. 964. – №. 2. – P. L25.
2. Gold R. et al. Verification of radiative transfer schemes for the EHT // *The Astrophysical Journal*. – 2020. – V. 897. – №. 2. – P. 148.
3. Novello M. et al. Geometrical aspects of light propagation in nonlinear electrodynamics // *Physical Review D*. – 2000. – V. 61. – №. 4. – P. 045001.
4. Vorokhov A. `bhtrace` - a python library for modeling properties of compact objects in effective geometry, sourced by nonlinear electrodynamics // URL: <https://github.com/alexeivorohov/bhtrace>

HOLOGRAPHIC MODEL FOR COLOR SUPERCONDUCTIVITY IN D-DIMENSION BULK

Vu H. Nguyen¹, Trung V. Phan²

¹ vu@jinr.ru; The Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR, Dubna, Moscow region, Russia; Institute of Physics, VAST, 10000, Hanoi, Vietnam

² tphan25@jhu.edu; Department of Chemical and Biomolecular Engineering, John Hopkins University, Baltimore, MD 21218, USA

We generalize the concept of holography for the color superconductivity (CSC) phase by considering d -dimensional Anti de Sitter (AdS) space instead of the traditional 6 dimensions. The corresponding dual field theory is a gauge theory with $SU(N_c)$ symmetry defined in $(d - 1)$ -dimensions that, despite lacking a confinement phase, retains characteristics consistent with quantum chromodynamics (QCD) CSC. We then use a holographic model based on Einstein-Maxwell gravity and the standard Maxwell interaction in d -dimensional AdS space to investigate this phenomenon for the number of colors $N_c \geq 2$ without confinement phase, identifying the dimensions where the model remains valid for $N_c = 2$.

THIN ACCRETION DISC OF CHARGED ROTATING BLACK HOLE ON A 3-BRANE

R.M. Yusupova¹, R.N. Izmailov²

¹ yu.rose@mail.ru; 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; Institute of Molecule and Crystal Physics, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 151, Prospekt Oktyabrya, Ufa 450075, RB, Russia

The Randall-Sundrum model (Type II) is one of the simplest theories in brane cosmological models inspired by string theory (M-theory), which involves a positively tensioned brane in a bulk with one extra dimension and a negative cosmological constant [1]. The appearance of extra dimensions also leads to different properties of black holes [2,3]. In this work, we shall study the kinematic (radial velocity and specific angular momentum of the orbiting particles) and emissivity properties (temperature and luminosity) of thin accretion disks around the spinning black holes having a tidal charge in a Randall-Sundrum braneworld model [4] using the Page-Thorne approach [5]. For illustration, we choose as a toy model a stellar-sized spherically symmetric black hole and find that accretion disks of charged black holes are always colder and dimmer than accretion disks of Kerr black hole. We also show the influence of tidal charge and rotation parameter on the disk efficiency.

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. Randall and R. Sundrum, Phys. Rev. Lett. **83**, 3370 (1999).
2. P. Kanti, Int. J. Mod. Phys. A **19**, 4899 (2004).
3. K.K. Nandi, R.N. Izmailov, R.Kh. Karimov and A.A. Potapov, Ann. Phys. **470**, 169802 (2024).
4. A.N. Aliev and A.E. Gümrukçüoğlu, Phys. Rev. D **71**, 104027 (2005).
5. D.N. Page and K.S. Thorne, Astrophys. J. **191** 499 (1974).

A UNIFIED APPROACH TO THE DESCRIPTION OF 'DARK ENERGY' AND 'DARK MATTER' WITHIN THE FRAMEWORK OF THE MODIFIED THEORY OF INDUCED GRAVITY

F.Sh. Zaripov¹

¹ farhat.zaripov@kpfu.ru; N. Lobachevsky Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan Federal University, Kazan, Russia

The work is a continuation of the author's research, which proposed a modified theory of induced gravity (MTIG)([1], [2]). In this paper the MTIG equations with quadratic potential are considered. The solutions of the equations of geodesic curves are investigated

for the case of centrally symmetric space and in cosmological models. The problems of the so-called "dark energy" (DE) and "dark matter" (DM) within the framework of MTIG are described from a unified point of view.

The oscillatory nature of the solutions leads to the appearance of a gravitational potential containing a spectrum of minima, and not just one, as in the theory of Newton - Einstein (Schwarzschild - de Sitter solution); and can also lead in the second part of the period to antigravity, which is expressed by the opposite acceleration of the test body. Such solutions lead to the distribution of the potential of the gravitational field creating an additional mass effect at large distances and are well suited for modeling the effect of dark matter in galaxies. The same oscillatory nature of solutions in cosmological models leads to the emergence of cycles of accelerated and decelerated expansion of the Universe, as well as to an increase in the age of the Universe.

It is shown that in the vicinity of the galaxy, at least three types of zones can be distinguished. For $r_g > r < r_{cr}$, this is the Schwarzschild zone, where the behavior of geodesics, with an accuracy of the order of $10^{-9} \div 10^{-10}$, does not differ from the Schwarzschild solutions, although it is possible to design experiments to detect them. Further, the zones of antigravity and gravity are periodically repeated with increasing r . We have obtained many solutions for orbits that are impossible in the theory of Newton and Einstein. Comparison of such solutions with unexplained astronomical observations is the task of subsequent research.

References

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.

УРАВНЕНИЕ ШРЁДИНГЕРА ДЛЯ ПОЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ: ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕШЕНИЙ

Р.И. Айяла Онья¹

¹ ayyala@sfedu.ru; Южный Федеральный Университет

На данный момент существует несколько подходов к квантованию гравитации, включая геометродинамику Уилера–Де Витта, петлевую квантовую гравитацию и теорию струн. Несмотря на значительные достижения в рамках этих подходов, каждый из них сталкивается с фундаментальными концептуальными трудностями, которые вызывают дискуссии в научном сообществе. Например, в геометродинамике Уилера–Де Витта существует так называемая «проблема времени», связанная с тем, что временной параметр исчезает из уравнения, что делает затруднительным определение динамики. Теория струн требует добавления дополнительных измерений, что вызывает вопросы относительно их физической интерпретации.

Петлевая квантовая гравитация, в свою очередь, основывается на дискретизации пространства-времени на малых масштабах, что также создает сложности при интерпретации и согласовании с наблюдаемыми свойствами пространства-времени.

В качестве альтернативы указанным подходам нами предложен новый метод, основанный на формализме расширенного фазового пространства. Этот метод позволяет вывести уравнение Шредингера для калибровочных теорий, таких как гравитация. В данной работе представлено обобщение метода квантования для систем с конечным числом степеней свободы, предложенного Ченгом, позволяющее получать уравнение Шредингера для систем, описываемых полевыми функциями. В результате исследований было получено интегро-дифференциальное уравнение Шредингера, содержащее дополнительные члены, связанные с духовым сектором эффективного действия. Дана интерпретация структуры. Также получены решения для сферически симметричной системы при различных калибровочных условиях: $N = 1/V$, соответствующее решению Шварцшильда, и $N = 1$, соответствующее решению Толмана.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА РАСШИРЕНИЯ ОТО

С.О. Алексеев¹, О.И. Зенин²

¹ alexeyev@physics.msu.ru; ГАИШ МГУ

² dkiiiabu4@gmail.com; ФФ МГУ

В опубликованном нами несколько лет назад обзоре [1] обсуждался спектр возможностей получить новую информацию и наложить дополнительные ограничения на способы и методы расширения общей теории относительности (ОТО), беря в расчет астрономические данные, а именно: радиус разворота на масштабах кластеров (в режиме объяснения темной энергии и сравнения с Λ CDM), теней черных дыр (в режиме сравнения профилей теней, рассчитанных теоретически в рамках каждой из моделей с результатами проекта Event Horizon Telescope), гравитационно-волновой астрономии, двойных пульсаров, Солнечной системы и др. В настоящей работе, используя недавно полученные астрономические данные, а также на основании новых теоретических результатов в этом направлении, уточняются обсуждаемые способы расширения ОТО и полученные ранее ограничения (в случае теней: с учетом вращения черных дыр [2–4], более подробно эти вопросы обсуждаются в докладе О.И.Зенина) и состояния наблюдений в гравитационно-волновой астрономии [5].

Благодарности. Работа поддержана грантом РФФ 23-22-00073.

Литература

1. S. Alexeyev, V. Prokopov, Universe 8, 283 (2022).
2. Алексеев С.О., Байдерин А.А., Немтинова А.В., Зенин О.И., ЖЭТФ, 165, Вып. 4, 508 (2024)
3. С. О. Алексеев, А. А. Байдерин, О. И. Зенин *Тени черных дыр в моделях Хорндески и бамбелби: учет вращения, ЭЧАЯ*, принято к печати, 56, (2025).

4. С. О. Алексеев, А. А. Байдерин, О. И. Зенин *Моделирование теней черных дыр в расширенных теориях гравитации: учет вращения и связанные эффекты, ЖЭТФ*, на рассмотрении.

5. И.И. Чех, С.О. Алексеев, *Гравитационные волны в расширенных теориях гравитации, УФН*, на рассмотрении.

СУПЕРАЛГЕБРА ДЕ СИТТЕРА: ОПЕРАТОРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ, СУПЕРМЕТРИКА И СУПЕРЧАСТИЦА

А.В. Аминова¹, М.Х. Люлинский²

¹ *asya.aminova@kpfu.ru*; Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

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

В рамках римановой супергеометрии построена модель суперпространства де Ситтера. Найдена инвариантная суперметрика. Записан супераналог действия Эйнштейна-Гильберта с лагранжианом в виде грассмановой функции с естественно возникающими ограничениями на константы. Построены выражения для обобщенных координат и импульсов.

Мы рассматриваем суперсимметрию как автоморфизм супергеометрической структуры, в частности, как инфинитезимальное суперпреобразование, оставляющее неизменной метрику суперпространства. Метрика определяется как инвариант супергруппы преобразований в духе Клейновской программы, идея которой заключается в рассмотрении симметрии, или группы преобразований как основы определения геометрии пространства [3]. Предложена модель суперобобщения алгебры изометрий пространства де Ситтера:

$$[M_{DS}^{ab}, M_{DS}^{cd}] = \eta^{ad} M_{DS}^{bc} + \eta^{bc} M_{DS}^{ad} - \eta^{ac} M_{DS}^{bd} - \eta^{bd} M_{DS}^{ac}, \quad (1)$$

$$[M_{DS}^{ab}, P_{DS}^c] = \eta^{bc} P_{DS}^a - \eta^{ac} P_{DS}^b, \quad [P_{DS}^a, P_{DS}^b] = -KM_{DS}^{ab}, \quad (2)$$

$$[Q_{\alpha DS}, M_{DS}^{ab}] = \frac{1}{2} (\gamma^{ab})_{\alpha}^{\beta} Q_{\beta DS}, \quad (3)$$

$$[Q_{\alpha DS}, P_{DS}^a] = -i \frac{s_{DS} \sqrt{K}}{2} (\gamma^a)_{\alpha}^{\beta} Q_{\beta DS}, \quad (4)$$

$$\{Q_{\alpha DS}, Q_{\beta DS}\} = i s_{DS} \sqrt{K} (\gamma_{ab} C^{-1})_{\alpha\beta} M_{DS}^{ab} + 2 (\gamma_a C^{-1})_{\alpha\beta} P_{DS}^a, \quad (5)$$

где $s_{DS} = 1$ для суперпространства де Ситтера и $s_{DS} = -1$ для суперпространства анти — де Ситтера, $(\gamma^a)_{\beta}^{\alpha}$ - гамма-матрицы Дирака, $C = i\gamma^0\gamma^2$; $\gamma^{ab} = \frac{1}{2} (\gamma^a\gamma^b - \gamma^b\gamma^a)$ [4], [5], K - константа.

Найдена реализация супералгебры (1-5) в виде супердифференциальных операторов, действующих в восьмимерном суперпространстве де Ситтера с координатами x^a, θ^{α} , где x^a — координаты в пространстве де Ситтера, а θ^{α} - антикоммутирующие координаты.

Вычислена инвариантная относительно этих операторов метрика суперпространства де Ситтера, служащая суперобобщением метрики теории Эйнштейна. Наличие “души”, содержащей антикоммутирующие переменные, приводит к неожиданным свойствам кривизны суперпространства.

Записан супераналог действия Эйнштейна-Гильберта [1]

$$A = \int d^8 x R \sqrt{-\text{Det}(g)},$$

где Det — супердетерминант [2].

Построены выражения для обобщенных координат и импульсов.

Литература

1. P. Nath and R. L. Arnowitt, Phys. Lett. B 56, 177 (1975); R. L. Arnowitt, P. Nath and 17B. Zumino, Phys. Lett. B 56, 81 (1975).
2. Березин Ф.А., *Введение в суперанализ*, 433 с., Москва, Изд. МЦНМО (2013).
3. А. В. Аминова, С. В. Мочалов, “Метрика суперпространства Минковского как инвариант супергруппы Пуанкаре”, Изв. вузов. Матем., 1994, № 3, 10–16; Russian Math. (Iz. VUZ), 38:3 (1994), 8–14.
4. Asya V. Aminova, Mikhail Kh. Lyulinsky, arXiv:1904.07156.
5. Аминова А.В., Люлинский М.Х. Эффект ненулевой космологической постоянной в супер-Пуанкаре инвариантной вселенной // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2019. № 3. С. 11–19.

НАБЛЮДЕНИЕ СВЕРХМАССИВНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР И КРОТОВЫХ НОР ПРИ ПОМОЩИ НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО РСДБ В ПРОЕКТЕ ‘МИЛЛИМЕТРОН’

А.С. Андрианов¹

¹ andrian@asc.rssi.ru; Астрокосмический центр, Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, 117997, Москва, Россия

Сверхмассивные объекты в центрах ближайших галактик являются хорошим местом для проверки общей теории относительности. Наблюдение теней таких объектов может помочь сделать выбор между моделью сверхмассивной черной дыры либо кротовой норы для центрального объекта. А также обеспечить надежные измерения основных параметров метрики в случае черной дыры: спина и массы. Реализуемый в Астро космическом центре ФИАН (АКЦ ФИАН) проект наземно-космического интерферометра субмиллиметрового диапазона (проект ‘Миллиметронтрон’) позволит получить изображения теней центральных сверхмассивных объектов, а также исследовать тонкую структуру тени, такую как фотонные кольца (линзированные изображения аккреционного диска, образуемые лучами, делающими несколько полуоборотов вокруг центрального массивного объекта) для нескольких десятков ближайших галактик.

О СПИНОВЫХ СВЯЗНОСТЯХ КАК ПЕРЕМЕННЫХ КВАНТОВАНИЯ ГРАВИТАЦИИ

А.Б. Арбузов¹, А.А. Никитенко²

¹ *arbuzov@theor.jinr.ru*; Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова. Россия, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6.

² *nikitenko@theor.jinr.ru*; Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова. Россия, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6.

В докладе рассматривается инвариантная относительно преобразований Вейля

$$g_{\mu\nu} dx^\mu \otimes dx^\nu = e^{-2D} \tilde{g}_{\mu\nu} d\chi^\mu \otimes d\chi^\nu, \quad (1)$$

версия ОТО с действием

$$S_{\text{CCGR}} = \int d^4\chi \sqrt{-\tilde{g}} \left[\frac{\tilde{M}_P^2}{16\pi} \tilde{R} + \frac{3\tilde{M}_P^2}{8\pi} (\tilde{g}^{\mu\nu} \nabla_\mu D \nabla_\nu D) + L_{\text{matter}}(\tilde{g}_{\mu\nu}) \right], \quad (2)$$

где M_P — масса Планка, а $\tilde{M}_P = M_P e^{-D}$ — конформная масса Планка. Используется тетрадный формализм со спиновой связностью. Изучается гипотеза о том, что фундаментальными переменными квантовой гравитации являются компоненты динамической части спиновой связности $\omega_{(a),(b),(c)}^R$, которые задаются формулой

$$\omega_{(a),(b),(c)}^R = \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \frac{1}{\sqrt{2\omega_k}} i k_{(c)} \left[\epsilon_{(a)(b)}^R(k) g_k^+ e^{ik \cdot x} + \epsilon_{(a)(b)}^R(-k) g_k^- e^{-ik \cdot x} \right], \quad (3)$$

где g_k^\pm рассматриваются как операторы рождения и уничтожения. Метрика и гравитационное действие выражены через эти переменные. С использованием этих переменных вычисляется спектр мощности первичных гравитационных волн в рассматриваемой версии ОТО. Производится его сравнение со стандартным спектром мощности, который вычисляется с помощью квазиклассического подхода к ОТО.

Литература

1. *Arbuzov A., Latosh B.*, // Universe 2018. 4. P. 38.
2. A. B. Arbuzov and A. A. Nikitenko, On the Choice of Variable for Quantization of Conformal GR, Universe **10** (2024) no.7, 294.
3. A. B. Arbuzov, A. Y. Cherny, D. J. Cirilo-Lombardo, R. G. Nazmitdinov, N. S. Han, A. E. Pavlov, V. N. Pervushin and A. F. Zakharov, Von Neumann's quantization of general relativity, Phys. Atom. Nucl. **80** (2017) no.3, 491-504

РАЗВИТИЕ РЕЛЯЦИОННОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ И ОБОБЩЕННОЕ ОПИСАНИЕ ГРАВИТАЦИИ И КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТОВ

В.В. Аристов¹

¹ aristovvl@yandex.ru; Федеральный исследовательский центр 'Информатика и управление' РАН

В разрабатываемой концепции на основе теоретических моделей фундаментальных приборов – в чем проявляется реляционность подхода – строится единая геометрическая схема для различных масштабов. Данные фундаментальные приборы – линейки и часы задают фактически физическое пространство и время, для них записываются статистические выражения в согласии с представлениями о равномерном ходе часов (времени) и об однородности дискретной среды линеек (пространства). Интервал времени выражен через сумму интервалов пространственных перемещений для частиц в мире, что фиксируется по световым сигналам, приходящим в место приема, где находится фундаментальный прибор темпорометр, снабженный фотоаппаратом. Пространственные приращения выражаются в единицах масс через конфигурации частиц при сравнении их с конфигурации элементов однородной измерительной среды фундаментальных приборов, соответствующих масштабным линейкам. Такие соотношения задают уравнения, соотносимые по принципу соответствия с известными уравнениями. Полученная геометрическая схема справедлива для микроскопических и макроскопических масштабов с различием описания на разных пределах. В настоящей работе при дальнейшем развитии реляционной статистической концепции удастся описать гравитационные эффекты [1], построить новые космологические модели, в частности, описать проявление темной материи (без введения гипотетических частиц), в рамках обобщенного принципа Маха установить связь микро- и макромасштабов, что задает единое описание и квантовых, и гравитационных эффектов [2]. В статистических суммах уточняется смысл коэффициентов, отвечающих за проявления таких эффектов. Выясняется возможность измерения этих коэффициентов (аналогов компонент метрического тензора) Обсуждается соотношение с работами Ю.С. Владимирова и его последователей [3, 4].

Литература

1. Aristov V.V. The gravitational interaction and Riemannian geometry based on the relational statistical space-time concept. *Gravitation and Cosmology*. 2011. Vol.17, № 2, P. 166-169.
2. Аристов В.В. Реляционное статистическое пространство-время и построение единой физической теории // *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2018. 4(25), С. 4-20.
3. Владимиров Ю.С. Реляционная концепция Лейбница-Маха. М.: ЛЕНАНД, 2017.
4. Молчанов А.Б. Космологический масштабный фактор в реляционном подходе // *Метафизика*. 2023. № 2 (48). С. 38-47.

ЭВОЛЮЦИЯ ФЛУКТУАЦИЙ В ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕМНОЙ ЭНЕРГИИ ЦАЛЛИСА

А.В. Асташенок¹

¹ Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236041, Калининград, ул. А. Невского, 14

В 1998 году было обнаружено, что Вселенная расширяется с ускорением. Есть много способов объяснить это ускорение. Одним из них является голографическая темная энергия, основанная на голографическом принципе из термодинамики черных дыр и теория струн. Этот принцип утверждает, что существует связь между инфракрасным обрезанием в квантовой теории поля и наибольшим масштабом в этой теории. С космологической точки зрения это означает, что Вселенную можно описать некоторыми величинами на ее границе. Цаллис модифицировал формулу энтропии для черных дыр и создал новый класс моделей темной энергии.

Устойчивость к возмущениям плотности в голографической темной энергии является решающим фактором для ее применимости. Было обнаружено, что для классической голографической темной энергии квадрат скорости звука меньше нуля, что подразумевает нестабильность. Ключевым моментом является то, что анализ возмущений в случае голографической темной энергии требует иного подхода, чем в случае обычной космологической жидкости. Голографическая темная энергия является глобальным квантовым явлением, поэтому возмущение будущего горизонта событий должно рассчитываться так же, как и в случае обычной голографической темной энергии.

Для плотности темной энергии ρ_{de} мы предполагаем, что

$$\rho_{de} = \frac{3C^2}{L_0^{4-2\gamma}}, \quad (1)$$

где C^2 — неизвестный параметр. Для масштаба L_0 рассматривается случай будущего горизонта событий:

$$L_0 = a \int_t^\infty \frac{dt'}{a}.$$

для пространственно плоской вселенной с метрикой Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера с масштабным фактором a .

Эволюция возможных флуктуаций плотности темной энергии требует дальнейшего изучения. Для простоты мы рассматриваем только скалярные возмущения метрики. В ньютоновской калибровке для возмущенной метрики имеем:

$$ds^2 = - [1 + 2\Phi(r, t)] dt^2 + a^2(t) [1 - 2\Phi(r, t)] dr^2, \quad (2)$$

где функция Φ зависит не только от времени, но и от сопутствующей радиальной координаты. Физическое расстояние $L(0, t)$ до горизонта от места расположения наблюдателя при $r = 0$ можно найти из интеграла

$$L(0, t) = \int_0^{l(0,t)} a(t) [1 - \Phi(r, t)] dr, \quad (3)$$

где $l(0, t)$ — координатное расстояние до будущего горизонта событий,

$$l(0, t) \equiv l_0 + \delta l, \quad \delta l = \int_t^\infty \frac{2\Phi(l_0(t'), t')}{a(t')} dt'. \quad (4)$$

Значение l_0 есть сопутствующее невозмущенное расстояние до горизонта событий. Таким образом, флуктуацию будущего горизонта событий можно записать как

$$\delta L \equiv L(0, t) - L_0 = a(t) \left[\int_t^\infty \frac{2\Phi(l_0(t'), t')}{a(t')} dt' - \int_0^{l_0} \Phi(r, t) dr \right] \quad (5)$$

и плотность темной энергии имеет соответствующую флуктуацию

$$\delta \rho_{de} = (2\gamma - 4) \rho_{de} \frac{\delta L}{L_0} \quad (6)$$

Подставив это уравнение в 00-компоненту возмущенного уравнения Эйнштейна, получаем уравнение для функции $\Phi(r, t)$:

$$\frac{\Delta^2}{a^2} \Phi - 3H\dot{\Phi} - 3H^2\Phi = \frac{1}{2}(\delta \rho_{de} + \delta \rho_m) \quad (7)$$

Чтобы решить уравнение (7), разложим Φ , используя собственную функцию. Мы полагаем, что

$$\Phi(r, t) = \sum_k \Phi_k(t) \frac{\sin(kr)}{r} \quad (8)$$

где мы опустили члены $\cos(kr)/r$, приводящие к особенности при $r = 0$.

Мы исследуем эволюцию плотности материи и соответствующих флуктуаций метрики с ранних времен, когда $a_{in} = 0,01$. Для δ_m мы предполагаем, что в этот момент $\delta_m(a_{in}) = 0,01$ и $\delta'_m(a_{in}) = 1$. Для простоты в качестве начальных условий для Φ_{in} и Φ'_{in} берутся значения 10^{-4} и 0 соответственно. Затем уравнения интегрируются от масштабного фактора $a = 0,01$ до $a = 30$ (далёкое будущее, когда $\Omega_{de} \rightarrow 1$). Мы нашли Φ при текущем значении скалярного коэффициента ($a = 1$) и рассмотрели соотношение $\Phi(a)/\Phi(1)$ как функцию красного смещения z в прошлом (в диапазоне $0 < z < 2$) и в зависимости от масштабного коэффициента в будущем.

Из наших расчетов следует, что эволюция возмущений материи существенно не зависит от параметра C , но значение параметра неаддитивности существенно влияет на асимптотическое значение δ_m на больших временах. Для меньших значений γ предел $\delta_{ms} = \lim_{t \rightarrow \infty} \delta_m$ уменьшается. Также существенно меняется эволюция возмущений метрики по сравнению со случаем, когда мы пренебрегаем возмущениями материи. Нет никакого существенного различия в принципиальном характере эволюции Φ в прошлом и будущем. Меняются лишь некоторые детали. При всех значениях C флуктуации затухают со временем в будущем, но их начальный рост сильно зависит от параметра γ . Также нет простой корреляции между γ и асимптотическим значением $\Phi(a)$.

РЕНОРМГРУППОВЫЕ ПОТОКИ В ТРЁХМЕРНОЙ КАЛИБРОВАННОЙ СУПЕРГРАВИТАЦИИ

Л.Н. Астраханцев¹

¹ lev.astrakhtantsev@phystech.su; Московский Физико-Технический Институт

Являясь непertурбативным подходом, голографическая ренормгруппа представляет особый интерес для исследования конформных теорий поля. В качестве простой модели для исследования фундаментальных свойств AdS/CFT соответствия можно изучать ренормгрупповые потоки для конформных теорий поля, голографически дуальных решениям доменных стенок Пуанкаре в $D = 3$ $\mathcal{N} = (2, 0)$ калиброванной супергравитации с сигма-моделью на целевом пространстве $SU(1, 1)/U(1) = \mathcal{H}^2$. Данная теория редуцируется до подсектора, где векторное поле и фаза скалярного поля равны нулю, при этом рассматриваются различные граничные условия для оставшегося действительного скалярного поля.

Ренормгрупповые потоки, которые в общем не являются суперсимметричными, анализируются путем рассмотрения уравнений поля супергравитации как динамической системы для скалярного поля и его производной по масштабному фактору. Фазовые диаграммы строятся для различных значений параметра a^2 , который связан с кривизной целевого пространства скалярного поля. Поведение решений ренормгруппы в зависимости от граничных условий скалярного поля определяется на основе разложения вблизи границы ложного суперпотенциала соответствующего типа. Полученные ренормгрупповые потоки интерпретируются с использованием голографического словаря. Обсуждаются полученные экзотические ренормгрупповые потоки.

ОБОСНОВАНИЕ ГИПОТЕЗЫ САЗЕРЛЕНДА-ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В РАМКАХ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА

И.А. Бабенко¹, А.Г. Жилкин²

¹ РУДН, Учебно-научный институт гравитации и космологии

² Институт астрономии РАН

В ряде своих работ (1900-1908 гг.) Сазерленд [1] и в 1925 году Эйнштейн [2] высказали гипотезу, что первичное магнитное поле астрофизических объектов обусловлено вращением поверхностного (отрицательного) и объемного (положительного) зарядов. При этом заряды компенсируют друг друга, то есть, скомпенсированы создаваемые ими электрические поля, но не магнитные. Выдвинутую гипотезу возможно обосновать на основе синтеза теории Калуцы и Клейна в рамках 6-мерной геометрической модели с двумя дополнительными координатами: x_4 и x_5 . В рамках многомерных геометрических моделей можно найти, что масса индуцирует дополнительный (“массовый”) электрический заряд $\Delta q (\Delta q = 2\sqrt{G}m)$. Учитывая, что,

например, для электрона масса , получаем для него отношение дополнительного заряда к основному $\frac{\tilde{q}}{q} \equiv \frac{\tilde{e}}{e} \approx 10^{-21}$.

Для описания пространства-времени вокруг вращающихся сферически симметричных объектов следует использовать метрику типа Керра-Ньюмена, где дополнительная константа (электрический заряд) выражается через значение масс частиц. Добавки к общерелятивистским эффектам окажутся довольно незначительными. Однако вокруг таких объектов должны возникать как электрическое, так и магнитное поля. Как известно, дипольный магнитный момент $M_{K.N.}$ источника Керра—Ньюмена определяется формулой $M_{K.N.} = qa$ где q - электрический заряд источника, а a - момент импульса источника. Полагая источник шаром и подставляя значение q , тогда выражение для дипольного магнитного момента такого идеализированного объекта будет $M_{K.N.} \equiv M_1 = [4\sqrt{G}/(5c)]mR^2\omega$, где m - масса, R - радиус, ω - угловая скорость источника [3, 4].

В качестве приложения описанной теории рассмотрим экзопланеты, относящиеся к типу горячих юпитеров [5]. Эти планеты являются газовыми гигантами, расположенными близко к родительской звезде. Из-за сильных приливных эффектов их собственное вращение синхронизуется с орбитальным и вследствие этого дифференциальное вращение в недрах планеты существенно ослабляется. В результате эффективность динамо в этих планетах резко падает. Поэтому можно считать, что магнитные поля этих астрофизических объектов обусловлены одним и тем же механизмом. Это позволяет предположить, что магнитный момент любого горячего юпитера $\mu_{HJ} = x\mu_{GR,HJ}$, где коэффициент x имеет одинаковое значение для всех планет этого типа. Для горячего юпитера HD 209458b наблюдательные оценки магнитного поля [6] приводят к величине $\mu = 0.1\mu_J$, где μ_J - магнитный момент Юпитера, что дает $x = 0.0084$.

На основе этих оценок можно найти магнитный момент любого горячего юпитера по известным значениям массы, радиуса и орбитального периода (исходные данные взяты с сайта www.exoplanet.eu). Данные соображения количественно обосновывают гипотезу Сазерленда-Эйнштейна.

Литература

1. W. Sutherland // Terr. Mag. Planet Sci. – 5, 73 (1900); 8, 49 (1903); 9, 167 (1904); 13, 155 (1908).
2. Владимиров Ю.С. Происхождение магнитного поля астрофизических объектов. //Вестник Моск. ун-та. Серия 3. Физика. Астрономия, 2000, №2, с. 6-8.
3. Babenko I. A. and Vladimirov Yu. S., The Sutherland-Einstein hypothesis on the origin of magnetic fields of astrophysical objects// Gravitation and Cosmology, Vol. 27, p. 105–112 (2021).
4. Бисикало Д.В., Шематович В.И., Кайгородов П.В., Жилкин А.Г. Газовые оболочки экзопланет горячих юпитеров. М.: Наука, 2020.
5. Kislyakova K.G., Holmstrom M., Lammer H., et al. // Science Vol. 346, p. 981 (2014).

ТРИ-ВЕКТОРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ВНЕШНИМИ ПОТОКАМИ

С. Баракин¹, К. Губарев², Э. Мусаев³

¹ *barakin.serge@gmail.com*; Московский Физико-Технический Институт, Лаборатория Физики Высоких Энергий, 141702, Долгопрудный, Россия; Институт Теоретической и Математической Физики, Московский Государственный Университет им. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

² *kirill.gubarev@phystech.edu*; Московский Физико-Технический Институт, Лаборатория Физики Высоких Энергий, 141702, Долгопрудный, Россия

³ *musaev.et@phystech.edu*; Московский Физико-Технический Институт, Лаборатория Физики Высоких Энергий, 141702, Долгопрудный, Россия; Институт Теоретической и Математической Физики, Московский Государственный Университет им. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

В этой работе мы расширяем применимость формализма три-векторных деформаций, рассматривая неограниченную Исключительную Теорию Поля с группой U -дуальности $SL(5)$. Данная теория параметризует 11-мерную супергравитацию в качестве своего сечения, которое в данной работе было восстановлено для полной теории. Ключевой особенностью Исключительной Теории Поля является её ковариантность по отношению к группе U -дуальности, что определяет сечение в терминах полей и их потоков. Эта ковариантность позволила записать полевые уравнения в ковариантной форме, что определило достаточное условие их сохранения при три-векторной деформации - ковариантное преобразование не только полей, но и их потоков под действием деформации. Их простейшее решение устроено, как выполнение восстановленных в условия унимодулярности и обобщённого уравнения Янга-Бакстера для три-векторного параметра и восстановленных в данной работе уравнениях Киллинга для всех полей 11-мерной супергравитации для симметрией только 4-хмерного симметрического подпространства. При выполнении этих достаточных условий ковариантное преобразование $SL(5)$ полей и их потоков продиктовало преобразования полей и напряжённости 11-мерной супергравитации.

Главными результатами данной работы является расширение формализма три-векторной деформации в случае решения общего вида полевых уравнений 11-мерной супергравитации. Это выражается в достаточных условиях, что деформированное решение тоже будет решением, а также явном виде этого решения.

ОТКРЫТАЯ КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КАК ОСЦИЛЛЯТОР С ВЯЗКОСТЬЮ

А.М. Баранов¹

¹ *alex_m_bar@mail.ru*; Красноярский государственный педагогический университет им. В.П.Астафьева, Красноярск, Россия

Для четырехмерного пространства-времени с конформно-плоской метрикой в форме Фока, заполненного веществом и излучением в приближении идеальной жидкости, продемонстрировано сведение проблемы моделирования эволюции открытой космологической модели Вселенной к эквивалентной задаче поведения линейного гармонического осциллятора с вязкостью. Соответствующая космологическая модель является точным решением уравнений тяготения Эйнштейна. Показано, что параметр, отвечающий коэффициенту вязкости, влияет на эволюцию этой

модели. В зависимости от входящих в модель параметров графически продемонстрировано поведение функции состояния, которая, в свою очередь, в каждый момент времени представляет собой уравнение состояния. В асимптотике полученная модель переходит в открытую космологическую модель Фридмана.

РАЗЛИЧНЫЕ МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ МНИМОЙ ЧАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ В РАСШИРЯЮЩИХСЯ ПРОСТРАНСТВАХ

И.А. Белькович¹

¹ *московский физико-технический институт; belkovich.ia@phystech.edu*

Физическое явление рождения частиц во внешних полях представляет большой теоретический интерес. В частности, теоретически предсказано рождение частиц в расширяющихся пространствах. Примером такого пространства является пространство де Ситтера. Существует два метода вычисления скорости рождения пар частиц. Первый основан на вычислении через коэффициенты преобразования Боголюбова между начальным и конечным вакуумом:

$$V_4\Gamma_B = \frac{V_3}{2} \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^2} \ln|\alpha_{\mathbf{p}}|. \quad (1)$$

Второй метод заключается в вычислении мнимой части эффективного действия через мнимую часть фейнмановского in-out пропагатора в совпадающих точках:

$$V_4\Gamma_P = -\frac{1}{2} \int d^4x \sqrt{|g|} \int_{\infty}^{m^2} d\tilde{m}^2 \text{Im}G(x, x). \quad (2)$$

Когда пространство расширяется конечное время, число рожденных частиц также конечно. В этом случае приведенные выше формулы совпадают. Для того, чтобы это увидеть нужно в формуле (2) поменять местами интеграл по массе и интеграл по импульсам, через который выражается мнимая часть пропагатора. Это можно сделать поскольку интеграл по импульсам будет сходящимся. В случае бесконечно расширяющихся пространств интеграл по импульсам будет расходиться, в связи с чем выражения (1) и (2) будут давать разные ответы для скорости рождения частиц.

В работе показано, что два вышеупомянутых метода дают разные ответы для скорости рождающихся частиц на примере пространства де Ситтера в координатах Пуанкаре и глобальных координатах. А именно, в глобальных координатах скорость рождения частиц большой массы имеет вид:

$$\Gamma_B = \frac{2H^4}{\pi^2} e^{-2\pi H/m}, \quad \Gamma_P = \frac{H^4}{8\pi^2} \left(\frac{m}{H}\right)^3 e^{-2\pi H/m}, \quad m \gg H. \quad (3)$$

Также было показано, что расхождение в ответах в пространстве де Ситтера связано с тем, что при расчете эффективного действия с помощью функционального интеграла вклад вакуумных функционалов, возникающих при построении функционального интеграла, не учитываются.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ В МЕТРИКЕ ШВАРЦШИЛЬДА-МЕЛЬВИНА

И.А. Бизяев¹

¹ *bizyaevtheory@gmail.com*; Уральский математический центр, Удмуртский государственный университет, Россия, 426034, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

Пространство-время Шварцшильда-Мельвина является статическим и осесимметричным решением уравнений Эйнштейна-Максвелла. В координатах Шварцшильда $x = (t, r, \theta, \varphi)$ его интервал можно представить в следующей форме:

$$ds^2 = g_{ij} dx^i dx^j = \Lambda^2 \left[-\Gamma dt^2 + \frac{dr^2}{\Gamma} + r^2 d\theta^2 \right] + \frac{r^2}{\Lambda^2} \sin^2 \theta d\varphi^2, \quad (1)$$

$$\Lambda = 1 + \frac{B^2}{4} r^2 \sin^2 \theta, \quad \Gamma = 1 - \frac{r_s}{r}.$$

Данное решение может быть интерпретировано как сферически симметричная черная дыра погруженная во внешнее магнитное поле. Задача исследования геодезических метрики (1) сводится к исследованию гамильтоновой системы с двумя степенями свободы.

$$\frac{dp_r}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial r}, \quad \frac{dp_\theta}{d\tau} = -\frac{\partial H}{\partial \theta}, \quad \frac{dr}{d\tau} = \frac{\partial H}{\partial p_r}, \quad \frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\partial H}{\partial p_\theta}, \quad (2)$$

$$H = \frac{\Gamma}{2\Lambda^2} p_r^2 + \frac{p_\theta^2}{2r^2\Lambda^2} + U(r, \theta), \quad U(r, \theta) = \frac{L^2\Lambda^2}{2r^2 \sin^2 \theta} - \frac{E^2}{2\Lambda^2\Gamma}.$$

Для интегрируемости этой системы по теореме Лиувилля-Арнольда не хватает дополнительного интеграла, который в общем случае отсутствует.

Круговые траектории $r = \text{const}$, $\theta = \frac{\pi}{2}$ являются положениями равновесия системы (2) и совпадают с критическими точками гамильтониана. Вследствие этого анализ относительных равновесий позволяет классифицировать область возможного движения в зависимости от значений первых интегралов и выделить значения интегралов углового момента и энергии, а также магнитного поля для которых все траектории являются ограниченными.

С помощью отображения Пуанкаре рассмотрены бифуркации периодических решений системы (2). Показано, что для достаточно сильного магнитного поля, для которого отсутствуют круговые траектории могут встречаться другие ограниченные траектории. Приведен пример такой ограниченной траектории, возникающей после седлоузловой бифуркации. Кроме того, явно вычислен интеграл Мельникова, который показал что для малого значения параметра B устойчивые и неустойчивые многообразия пересекаются, что также проиллюстрировано с помощью отображения Пуанкаре.

Исследование выполнено в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (FEWS-2024-0007).

КОРРЕЛИРОВАННЫЕ УСКОРЕНИЯ В МОНИСТИЧЕСКОЙ РЕПЛИКЕ УРАВНЕНИЯ ЭЙНШТЕЙНА БЕЗ ПРАВОЙ ЧАСТИ

И.Э. Булыженков¹

¹ ibphys@mail.ru; orcid.org/0000-0003-3835-0973, Москва, Россия

Коррелированные 4-ускорения координат отвечают за кинетический механизм генерации полевой массы в монистической самосборке нелокального пространства-материи. Четыре вариации Гильберта для сплошного материального заполнения с евклидовой 3-геометрией поддерживают равные плотности активной и пассивной масс в монистическом аналоге тензорного уравнения Эйнштейна без правой части. Строгие решения ведут к проверяемой альтернативе шварцшильдовской метрики, шеннонским потенциалам для информационно-энергетических распределений в полевой самоорганизации и к занулению ее полной механической энергии из-за самогравитации. Монистическая геометродинамика нелокальных космических иерархий преодолевает требование гравитационного коллапса в парадоксе Бентли при несущественной радиационной диссипации.

ЛАГРАНЖЕВА ФОРМУЛИРОВКА ТЕОРИИ ПОЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО (БЕСКОНЕЧНОГО) СПИНА В ПРОСТРАНСТВЕ АНТИ ДЕ СИТТЕРА

И.Л. Бухбиндер¹

¹ joseph@theor.jinr.ru; ЛТФ ОИЯИ, Дубна

В последнее время возник определенный интерес к построению полевого лагранжевого описания для неприводимого представления группы Пуанкаре с бесконечным спином и его обобщения на поля в искривленном пространстве-времени (см. напр. обзор [1]). В докладе обсуждается подход к выводу лагранжевой формулировки для бозонного поля с бесконечным спином в пространстве AdS_4 в рамках БРСТ конструкции. Предложен новый класс связей, которые можно использовать для описания представления с бесконечным спином в искривленном пространстве-времени. Показано, что эти связи формируют замкнутую калибровочную алгебру только в пространстве анти-де Ситтера. Построен соответствующий БРСТ-БФВ заряд, найден лагранжиан и калибровочные преобразования. Доклад в основном основан на работах [2,3,4].

Литература

1. X. Bekaert, E. D. Skvortsov, *Elementary particles with continuous spin*, Int. J. Mod. Phys., **A32** (2017) 1730019, [arXiv:1708.01030](https://arxiv.org/abs/1708.01030) [hep-th].
2. I. L. Buchbinder, S. Fedoruk, A. P. Isaev, V. A. Krykhtin, *Infinite (continuous) spin particle in constant curvature space*, Phys. Lett. B **853** (2024) 138689, [arXiv:2402.13879](https://arxiv.org/abs/2402.13879) [hep-th].
3. I. L. Buchbinder, S. Fedoruk, A. P. Isaev, V. A. Krykhtin, *BRST construction for infinite spin field on AdS_4* , EPJP **139** (2024) 621, [arXiv:2403.14446](https://arxiv.org/abs/2403.14446) [hep-th].

4. I. L. Buchbinder, S. Fedoruk, A. P. Isaev, M. A. Podoinitsyn, *On the realization of infinite (continuous spin field representations in AdS_4 space*, arXiv:2410.07873 [hep-th].

SUPERSYMMETRIC 1D SIGMA MODELS ON COADJOINT ORBITS

D.V. Bykov¹

¹ bykov@mi-ras.ru; Steklov Mathematical Institute, Institute for Theoretical and Mathematical Physics (Moscow State University)

I will discuss quantum mechanical systems with $\mathcal{N} = 2$ and $\mathcal{N} = 4$ supersymmetry and finite-dimensional Hilbert spaces, proving that they are natural truncations of sigma models, whose target spaces are $SU(n)$ coadjoint orbits. As a first application, I will compute the Witten indices of these finite-dimensional models showing that they reproduce the Dolbeault and de Rham indices. The possibility of finding the exact spectra of Hamiltonians will be discussed.

(Based on joint work with V. Krivorol and A. Kuzovchikov, to appear)

КВАДРАТИЧНЫЕ ПОПРАВКИ В ГОЛОМОРФНОМ СЕКТОРЕ УРАВНЕНИЙ ВЫСШИХ СПИНОВ В РАМКАХ ПОДХОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ГОМОТОПИИ I

Д.А. Валерьев¹

¹ valerev.da@phystech.edu; МИПТ, ЛПИ

В докладе будет представлен один из подходов к построению взаимодействующей теории высших спинов в четырехмерном пространстве-времени ($d = 4$) в рамках программы Фронсдала. Ключевым элементом данного подхода является введение вспомогательных переменных и полей, что позволяет сформулировать систему нелинейных уравнений высших спинов. Будут представлены разработанные методы решения этой системы, обеспечивающие эффективное аналитическое вычисление вершин взаимодействия. Полученные результаты заложат основу для последующего изложения применения метода дифференциальной гомотопии.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АКЦИОННО АКТИВНАЯ ПЛАЗМА В ПОЛЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭФИРА: ОБЩИЙ ФОРМАЛИЗМ И НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАВНОВЕСНЫХ СОСТОЯНИЙ

К.Р. Валиуллин¹, А.Б. Балакин²

¹ kr_valiullin@mail.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет

² alexander.balakin@kpfu.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет

Работа посвящена построению расширенной версии кинетической теории релятивистской аксионно активной многокомпонентной плазмы. Термин аксионно активная плазма был введен в работе [1] по аналогии с термином магнитоактивная плазма. Основным аспектом теории является наличие в схеме взаимодействий времениподобного нормированного на единицу векторного поля, ассоциированного со скоростью динамического эфира [2]. Помимо взаимодействия эфира с аксионным и электромагнитным полями, исследованного в работах [3] и [4], соответственно, необходимо учитывать и его воздействие на частицы плазмы. Мы полагаем, что существует два канала такого воздействия: во-первых, прямой канал, основным элементом которого являются силы, содержащие скорость эфира и её ковариантные производные; во-вторых, косвенный канал, связь в котором осуществляется через эфирно-индуцированные изменения в структуре электромагнитного и аксионного полей.

Эволюционные уравнения для гравитационного, электромагнитного, псевдоскалярного (аксионного) и векторного (эфирного) полей получены с использованием формализма Лагранжа; кинетические уравнения для функций распределения получены с помощью методов ковариантной статистики.

Релятивистские силы, действующие на частицы плазмы, конструируются феноменологически на основе классических аналогий. Проведена классификация сил, действующих на частицы плазмы в электромагнитном, эфирном, аксионном и гравитационном полях, в рамках Эффективной теории поля второго порядка.

Предложена новая концепция равновесия в релятивистской аксионно-эфирно активной плазме, согласно которой макроскопическая скорость плазмы совпадает со скоростью динамического эфира, а равновесная температура и химический потенциал предопределяются свойствами гравитационного, единичного векторного и аксионного полей.

Литература

1. Balakin A.B., Muharlyamov R.K., Zayats A.E. *Class. Quantum Grav.*, 2014, 31, 025005.
2. Jacobson T., Mattingly D. *Phys. Rev. D*, 2001, 64, 024028.
3. Balakin A.B. *Phys. Rev. D*, 2016, 94, 024021.
4. Balakin A.B., Lemos J.P.S. *Ann. Phys.*, 2014, 350, 454-484.

HIGHER-SPIN GAUGE THEORY AND SPACE-TIME + ANNOUNCE OF NEW RESULTS

M.A. Vasiliev¹

¹ vasiliev@lpi.ru; Lebedev Institute

The talk is prepared with the idea to explain to non-experts how the fundamental concepts of space-time and gravity are affected by higher symmetries of the higher-spin gauge theory, that are anticipated to be unbroken in the ultra high energy regime of quantum gravity. For the most of the talk no preliminary knowledge in higher-spin gauge

theory will be needed. Towards the end I hope to have time to announce some recent and work in progress results that may deepen the understanding of the higher-spin gauge theory.

МЕТАРЕЛЯЦИОННАЯ ТРАКТОВКА ГРАВИТАЦИИ

Ю.С. Владимиров¹

¹ yusvlad@rambler.ru; Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Институт гравитации и космологии РУДН

1. К настоящему времени становится все более очевидным, что понятия и закономерности классического пространства-времени теряют силу в физике микромира. В связи с этим рядом известных физиков была выдвинута идея поиска самостоятельной системы понятий и принципов, присущих физике микромира, из которой бы выводились классические пространственно-временные представления и общепринятые понятия физики, ныне описываемые на его фоне (или из него), в том числе и гравитационные взаимодействия.

2. В нашей группе предложено решение этой проблемы на базе метареляционной парадигмы, опирающейся, во-первых, на метафизические принципы и, во-вторых, на принципы третьей – реляционной парадигмы, пока находящейся в тени двух других парадигм (геометрической и теоретико-полевой) [1].

3. Метареляционная парадигма опирается на комплексное обобщение математического аппарата бинарных систем отношений (БСКО) трех минимальных рангов (2,2), (3,3) и (4,4). Было показано, что элементами БСКО ранга (3,3) являются комплексные 2-компонентные спиноры, от которых (без использования понятий пространства-времени) осуществляется переход к общепринятым геометриям (импульсным и координатным).

4. С точки зрения развиваемой парадигмы общепринятый ныне лагранжев формализм представляет собой реализацию бинарной системы вещественных отношений ранга (6,6;a) понятий двух множеств: координатного и импульсного пространств.

5. В этом подходе на классическом уровне физические взаимодействия описываются в рамках теории прямого межчастичного взаимодействия, ранее развивавшемся рядом известных авторов. В этих теориях нет полей переносчиков взаимодействия, – взаимодействия осуществляются на основе концепции дальнего действия.

6. Если в рамках общей теории относительности гравитация описывается посредством обобщения свойств координатного пространства-времени (перехода к искривленному), то в метареляционной парадигме гравитация описывается путем обобщения понятий импульсного пространства – перехода от простейших миноров закона геометрии Лобачевского к высшим минорам [2].

7. В ряде ранее выполненных работ было показано, что на основе диагональных миноров 2×2 и 3×3 описываются наблюдаемые эффекты ОТО, а на недиагональных минорах строится теория электрогравитации.

Литература

1. *Владимиров Ю.С.* Метафизические основания физики. М.: ЛЕНАНД, 2024.
2. *Владимиров Ю.С.* Реляционная картина мира. Книга 2-я. От бинарной предгеометрии микромира к геометрии и физике макромира. М.: ЛЕНАНД, 2021.

РОССИЙСКОЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

Ю.С. Владимиров¹

¹ yusvlad@rambler.ru; Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Институт гравитации и космологии РУДН

В докладе изложено становление и развитие в нашей стране исследований в области общей теории относительности и гравитации. Доклад содержит 7 частей.

1. *Истоки отечественных гравитационных исследований.* В этой части доклада упомянуты плодотворные гравитационные (в рамках ОТО) исследования в нашей стране в 20-х - начале 30-х годов XX века, а затем возникшие трудности из-за несоответствия ОТО идеологии диалектического материализма.

2. *Создание и первые шаги отечественного гравитационного сообщества.* В этой части показаны активные усилия профессора Д.Д. Иваненко, приведшие к признанию в нашей стране важности ОТО. В итоге в 1961 году на базе МГУ была проведена 1-я Советская гравитационная конференция, а в 1962 году образована секция гравитации научно-технического совета Минвуза СССР. Председателем секции был назначен профессор Казанского университета А.З. Петров.

3. *Российское гравитационное сообщество в 70-х годах XX века.* В этой части показаны конфликт в секции гравитации, кончина профессора А.З. Петрова и деятельность секции под руководством профессора МГУ А.А. Соколова.

4. *Создание Российского гравитационного общества.* Это произошло в 1988 году во время проведения 7-й Советской гравитационной конференции в Ереване после безуспешных попыток ректора МГУ академика А.А. Логунова заменить ОТО на развиваемую им релятивистскую теорию гравитации (РТГ). Президентом сначала Всесоюзного, а с 1991 года Российского гравитационного общества был избран профессор В.Н. Мельников, плодотворно руководивший секцией до своей кончины в 2017 году.

5. *Российское гравитационное сообщество в трудные 90-е годы.* Показано, что несмотря на все трудности, в эти годы Российское гравитационное общество активно действовало: было организовано издание журнала "Gravitation and Cosmology" и регулярно раз в 3 года проводились Российские гравитационные конференции.

6. *Деятельность Российского гравитационного общества в XXI веке.* В этом разделе доклада дана информация о состоявшихся гравитационных конференциях и других мероприятиях XXI века.

7. *Мысли о наиболее перспективном направлении дальнейших исследований.* По мнению автора и ряда известных физиков, таким направлением является построение

самостоятельной системы понятий и закономерностей, присущих физике микромира, из которой бы вытекали используемые ныне классические пространственно-временные представления и другие понятия, описываемые на его фоне. Это будет означать искомое ныне совмещение принципов общей теории относительности и квантовой теории.

Литература

1. *Владимиров Ю.С.* Между физикой и метафизикой. Серия из 6 книг, изданных с 2010 по 2019 год в издательстве УРСС.
2. *Владимиров Ю.С.* Метафизические основания физики. М.: ЛЕНАНД, 2024.

SPEED OF GRAVITY WAVES IN BEYOND HORNDESKI THEORIES

V.E. Volkova¹

¹ volkova.v.e@gmail.com; ИЯИ РАН

Horndeski theories remain a compelling framework for modeling dark energy, offering viable explanations for the late-time accelerated expansion of the Universe. This study is motivated by the constraints on gravitational wave (GW) propagation introduced by multi-messenger astronomy, particularly the detection of GW170817 and its electromagnetic counterpart GRB170817A, which revealed that the speed of GWs is nearly identical to that of light. Traditional Horndeski theories, predicting an anomalous GW speed, face stringent constraints in this context.

In this talk, we explore two scenarios: (1) minimal coupling between photons and gravity, and (2) non-minimal coupling between photons and gravity. For the first case, we examine constraints on the beyond Horndeski Lagrangian functions derived for a cosmological background and investigate their applicability to a dynamical, inhomogeneous background—specifically, one that is arbitrarily time-dependent and spherically symmetric. We confirm that the constraints remain valid in this generalized setting.

For the second case, we revisit models inspired by Kaluza-Klein compactifications of higher-dimensional Horndeski theories, where non-trivial couplings between the electromagnetic field and the Horndeski scalar allow electromagnetic waves to propagate at non-unit speeds. We demonstrate that in these models, both GWs and their electromagnetic counterparts propagate at the same (albeit non-unit) speed in the presence of an arbitrarily time-dependent, spherically symmetric background. These findings suggest that certain subclasses of Horndeski theories can evade the constraints imposed by GW170817, provided photon-Galileon couplings are included.

АНИЗОТРОПНЫЕ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТИПА БИАНКИ I, V, IX В ТЕОРИИ С НЕМИНИМАЛЬНОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

Р.Г. Галеев¹, С.В. Сушков²

¹ rafgaleev3@gmail.com; Институт физики, Казанский федеральный университет, Казань 420008, ул. Кремлевская, 16а

² sergey_sushkov@mail.ru; Институт физики, Казанский федеральный университет, Казань 420008, ул. Кремлевская, 16а

Наблюдаемая слабая анизотропия реликтового излучения означает, что теоретическое исследование анизотропных космологических моделей является важной и актуальной задачей. В нашей работе мы исследуем космологические модели типа Бианки I, V, IX в скалярно-тензорной теории гравитации с неминимальной кинетической связью. Мы строим уравнения поля для исследуемых моделей и проводим их аналитический и численный анализ. Важный новый результат, полученный нами, заключается в том, что в отличие от общей теории относительности, в теории гравитации с неминимальной кинетической связью анизотропия затухает на ранних стадиях эволюции Вселенной.

Литература

1. Starobinsky, A. A., Sushkov S.V., Volkov M.S., The screening Horndeski cosmologies. *JCAP*, 2016, vol. 06, pp. 007. DOI: 10.1088/1475-7516/2016/06/007.
2. Galeev R., Muharlyamov R., Starobinsky A. A., Sushkov S. V., Volkov M. S. Anisotropic cosmological models in Horndeski gravity. *Physical Review D*, 2021, vol. 103, 104015. DOI: 10.1103/PhysRevD.103.104015.

ИЗМЕРЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСОВ ПРОБНЫХ МАСС КРИОГЕННЫХ ДЕТЕКТОРОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Л.Д. Гальченко¹, М.В. Тимохин, В.П. Митрофанов

¹ lidgalo@gmail.com; Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

Для повышения чувствительности интерферометрических детекторов гравитационных волн необходимо уменьшать шумы, ограничивающие чувствительность. Одним из таких шумов является тепловой шум подвеса пробных масс. Согласно флуктуационно-диссипационной теореме, уменьшить данный шум можно снижением температуры и повышением добротности самих пробных масс. В новом поколении гравитационно-волновых детекторов предполагают применять охлаждение пробных масс [1]. Добротность пробных масс и подвесов из плавленого кварца, которые используются сейчас, уменьшается при охлаждении [2], в связи с этим материал пробных масс заменяют на другие (в проекте KAGRA - сапфир, в проектах LIGO Voyager и Einstein Telescope - монокристаллический кремний). С новым материалом пробных масс появляется проблема их соединения с подвесом. Изучается

возможность соединения с использованием легкоплавких металлов (галлий и индий) [3].

Нами разработана методика исследования механических потерь в слоях из легкоплавких металлов и сплавов, использующихся для соединения элементов подвесов кремниевых пробных масс криогенных детекторов гравитационных волн. В настоящее время разрабатывается методика соединения кремниевых пластин с использованием ультразвукового разрушения оксидов кремния и оксидов соединительного слоя. Будут изготовлены составные кремниевые резонаторы с соединением легкоплавкими металлами и сплавами, измерена температурная зависимость угла механических потерь в соединительных слоях. Полученные данные будут использованы при оценке теплового шума пробных масс криогенных детекторов гравитационных волн нового поколения.

Литература

1. R. X. Adhikari K. Arai, A. F. Brooks et. al. A cryogenic silicon interferometer for gravitational-wave detection. *Class. Quantum Grav.* 37 165003, 2020.
2. У. Мезон. Ультразвуковые линии задержки с многократными отражениями. Москва, Мир, 1996.
3. G. Eddolls K. Haughian, R. Bassiri et. al. Update on suspension and bonding activities in glasgow. LIGO Document, LIGO-G2200421, 2022.

АНИЗОТРОПНЫЕ И НЕОДНОРОДНЫЕ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ С КИНЕТИЧЕСКИМ ГРАВИТАЦИОННЫМ СПЛЕТЕНИЕМ

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

Исследование эволюции ранней Вселенной является одной из актуальных задач космологии. Согласно астрономическим наблюдениям, современная Вселенная является однородной и изотропной. Однако, нельзя утверждать, что ранняя Вселенная была столь же симметрична. В своих исследованиях мы задались следующим вопросом: если изначально Вселенная была неоднородной и анизотропной, то какова динамика эволюции и каков механизм перехода к однородной и изотропной фазе?

В рамках данного исследования будем рассматривать теорию с кинетическим гравитационным сплетением, действие которой имеет вид:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{1}{16\pi} R + K(\varphi, X) - G(\varphi, X) \square \varphi \right],$$

где $g_{\mu\nu}$ – метрика пространства-времени, $g = \det(g_{\mu\nu})$, R – скаляр Риччи, φ – безмассовое скалярное поле, $X = -\frac{1}{2} \nabla^\mu \varphi \nabla_\mu \varphi$. Функции $K(\varphi, X)$, $G(\varphi, X)$ зависят только от скалярного поля и X .

Пространство-время в этой работе описывается метрикой Гауди с топологией 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: $\lambda(t, 0) = \lambda(t, 2\pi)$, $P(t, 0) = P(t, 2\pi)$, $Q(t, 0) = Q(t, 2\pi)$. Мы рассматриваем поляризованный случай метрики Гауди, когда функция $Q = 0$.

В данной работе были получены новые точные решения полевых уравнений, когда функции $K(\varphi, X), G(\varphi, X)$ имеют следующий вид:

$$1. K(\varphi, X) = X, G(\varphi, X) = \frac{1}{2}\eta\varphi$$

$$2. K(\varphi, X) = X, G(\varphi, X) = \frac{1}{4}\eta\varphi^2$$

В первом случае при $\eta < 1$ получаем теорию с обычным скалярным полем. Общее решение полевых уравнений данной модели представлено в работе [3]. При $\eta < 1$ получаем теорию с фантомным скалярным полем.

Литература

1. Gowdy R. H. *Phys. Rev. Lett.* **27**, 827 (1971)
2. Gowdy R. H. *Ann. Phys.* **83**, 203 (1974)
3. Charach Ch., Malin S. *Phys. Rev.D* **19**, 1058 (1979)

ВОЗМОЖНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В.О. Гладышев¹, В.Л. Кауц, А.В. Каютенко, Г.Д. Манучарян, П.П. Николаев,
И.В. Фомин, Е.А. Шарандин

¹ vkauts@mail.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 несколько новых механизмов конверсии электромагнитных и гравитационных волн. Приводятся результаты экспериментальных исследований нелинейно-оптических явлений, необходимых для их реализации.

На основе решений уравнений Эйнштейна для случая линеаризованной теории гравитации, определены поправки к метрике Минковского, индуцированные гравитационными волнами, связанными с электромагнитным полем. Предложен метод реконструкции характеристик свободных поперечных гравитационных волн в

пустом пространстве на основе характеристик гравитационных волн, связанных с электромагнитным полем в электромагнитных резонаторах.

Рассмотрен метод генерирования гравитационных волн, индуцированных стоячими электромагнитными волнами в резонаторах Фабри-Перо. Также представлены решения уравнений Эйнштейна, описывающие генерацию гравитационных волн системой стоячих электромагнитных волн на разностной частоте. В качестве фактора усиления генерации низкочастотных гравитационных волн рассматривается зависимость их амплитуды от разностной частоты стоячих электромагнитных волн.

ЯНГ-БАКСТЕРОВА СТРУКТУРА ОБОБЩЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

К.А. Губарев¹

¹ kirill.gubarev@phystech.edu; Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

В последнее время большой интерес вызывают методы генерации новых фоновых полей для двумерных нелинейных сигма-моделей (типа суперструны Грина–Шварца). Одним из особо выделенных методов являются деформации Янга–Бакстера фоновых полей. Такие преобразования задаются при помощи постоянной матрицы, удовлетворяющей классическому уравнению Янга–Бакстера. Предположительно такие деформации сохраняют представление Лакса для полевых уравнений, что отвечает сохранению классической интегрируемости системы. В контексте теории струн и супергравитации, что является основным интересом в представляемой работе, наиболее значимым результатом в этом направлении является открытие интегрируемого семейства деформаций суперструны Мецаева–Цейтлина на фоне $AdS_5 \times S^5$. На данный момент в литературе имеется большое количество результатов об интегрируемых деформациях $AdS_n \times S^n$ сигма-моделей [1], так как они представляют особый интерес с точки зрения голографического соответствия.

Деформации Янга–Бакстера решений 10-мерной супергравитации описываются при помощи антисимметричного би-векторного параметра для которого предполагается би-Киллингов анзац $\beta^{mn} = r^{ij} k_i^m k_j^n$, где r^{ij} — постоянные коэффициенты, а k_i^m — вектора Киллинга фонового решения [2]. Сама деформация полей имеет самый простой вид в терминах двойной теории поля, позволяющей сформулировать 10-мерную супергравитацию в $O(10,10)$ инвариантных терминах при помощи обобщенного репера E^A_N , объединяющего супергравитационные поля в фундаментальное представление группы $O(10,10)$. Тогда деформация описывается локальным поворотом обобщенного репера E^A_N на $O(10,10)$ матрицу $O^\beta_{M^N}$

$$E^A_N = \begin{pmatrix} e^a_n & -e^k_a b_{kn} \\ 0 & e^a_n \end{pmatrix}, \quad O^\beta_{M^N} = \begin{pmatrix} \delta_m^n & 0 \\ \beta^{mn} & \delta^m_n \end{pmatrix} = \exp\left(\frac{1}{2}\beta^{mn} T_{mn}\right), \quad (1)$$

где T_{mn} соответствующие генераторы группы $O(10,10)$. Для генерации решений при таких деформациях достаточно чтобы r^{ij} решала классическое уравнение Янга–Бакстера и была унимодулярной [2].

В представленной работе мы строим аналог таких деформаций для d -мерной теории Эйнштейна–Максвелла с дилатоном обладающей $GL(d+1)$ -инвариантной формулировкой. Предлагаемая нами деформация описывается поворотом обобщенного репера E^A_N на $GL(d+1)$ матрицу $O^{\alpha}_M{}^N$ (для простоты мы приводим формулы для $d=3$)

$$E^A_M = \begin{bmatrix} e^{\frac{\phi}{2}} e^a & e^{-\frac{\phi}{2}} A_m \\ 0 & e^{-\frac{\phi}{2}} \end{bmatrix}, \quad O^{\alpha}_M{}^N = \begin{bmatrix} \delta_m^n & 0 \\ \alpha^m & 1 \end{bmatrix} = \exp(\alpha^m T_m{}^4), \quad (2)$$

где $T_m{}^4$ соответствующие генераторы $GL(4)$. Мы показываем, что условия Киллинговости для вектора α^m достаточно для того чтобы генерировать новые решения. Мы рассматриваем примеры таких деформаций для черных дыр и плоского пространства. Мы показываем, что такие деформации могут быть интерпретированы в терминах обобщенного пространства как координатные преобразования

$$dx'^m = \left(e^{\xi+a} \right)_n{}^m e^{-\xi} (dx^n + \alpha^n(x) dz), \quad \xi = z \alpha^m \partial_m, \quad a_N{}^M = \partial_N(\alpha^M z), \quad (3)$$

$$dz' = dz.$$

Последний подход мы обобщаем на случай особого класса би-векторных деформаций имеющих вид $\beta = p_1 \wedge p_2 + q \wedge j$ с единственным нетривиальным коммутатором $[j, p_i] = \epsilon_i q$. Мы показываем, что они также могут быть описаны при помощи координатного преобразования в расширенном (двойном) пространстве. Такой взгляд открывает новый подход на исследование сохранения интегрируемости при деформациях Янга–Бакстера, так как ожидается, что найденное координатное преобразование позволит находить преобразование деформации для пары Лакса. Так же мы обсудим дальнейшие перспективы такого подхода к рассмотрению поли-векторных деформаций 11-мерной супергравитации [3], описываемых 3- и 6-векторами вида

$$\Omega^{m_1 m_2 m_3} = \rho^{a_1 a_2 a_3} k_{a_1}{}^{m_1} k_{a_2}{}^{m_2} k_{a_3}{}^{m_3}, \quad \Omega^{m_1 \dots m_6} = \rho^{a_1 \dots a_6} k_{a_1}{}^{m_1} \dots k_{a_6}{}^{m_6}, \quad (4)$$

где $\rho^{a_1 \dots a_{3,6}}$ — постоянные коэффициенты, а $k_a{}^m$ — вектора Киллинга фонового решения.

Литература

1. В. Hoare and A. A. Tseytlin, Nucl. Phys. B **897** (2015), 448-478
2. I. Bakhmatov and E. T. Musaev, JHEP **01** (2019), 140
3. K. Gubarev and E. T. Musaev, Phys. Rev. D **103** (2021) no.6, 066021

ТЕСТЫ ОТО ЛАЗЕРНЫМИ ГИРОСКОПАМИ

Ф.С. Гурин¹, С.И. Орешкин², К.В. Руденко³

¹ Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, ГАИШ МГУ, Россия, Москва

² Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, ГАИШ МГУ, Россия, Москва

³ Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Физический Факультет, Россия, Москва

Рассматривается использование наземных лазерных гироскопов большого размера для измерения малых аномалий земного вращения, в том числе вызванных эффектами ОТО. Обсуждаются проблемы использования лазерных гироскопов на базе газового лазера (HeNe) при длительных временах проведения измерений (месяцы, годы). Рассматривается необходимость построения теоретической модели зависимости выходных данных лазерного гироскопа от динамически меняющихся параметров лазерной генерации (температура газового разряда, деталей датчика, накопленная остаточная намагниченность и др.) для последующей коррекции данных о значениях угловой скорости вращения и снижения дисперсии получаемых результатов. Представлены результаты экспериментов с малой (периметром резонатора 20 см) пилотной моделью лазерного гироскопа с достижением чувствительности $3 \cdot 10^{-7}$ рад/(с · Гц^{1/2}).

ЭНЕРГИЯ, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ПОРОЖДЕНИЯ ВАРП-ДВИГАТЕЛЕМ КРотовых НОР

А.К. Гуц¹

¹ aguts@mail.ru; Сочинский государственный университет, Сочи, Россия, 354003

Как известно [1], при выходе на сверхсветовой (сверхбыстрый) режим полета варп-корабль Алькубьерре использует энергию порядка $1/4M_{\odot}$. Поскольку это значительно больше, чем энергия $1/100M_{\odot}$, требуемая для образования кротовой норы [3,4], то образуется кротовая нора и варп-пузырь D_0 , содержащий варп-корабль, уходит в нее [2].

Создание кротовой норы в 3-мерном (замкнутом) физическом пространстве M^3 приводит к тому, что пространство M^3 становится либо несвязным в случае 4-мерной кротовой норы, или неодносвязным при порождении 3-мерной кротовой норы. В результате получаем новое 3-мерное пространство \tilde{M}^3 с другими числами Бетти b_i . Расчет необходимой энергии без учета ее знака был сделан в [3, 4] с помощью формулы Ревентоса, относящуюся к формулам типа Гасса-Бонне-Черна. Последние связывают кривизну геометрии многообразия M^3 с ее топологической характеристикой, например с характеристикой Эйлера-Пуанкаре, или с комбинацией чисел Бетти $b_i(M^3)$.

Формула Ревентоса имеет вид [5, Theorem 2]

$$\frac{1}{2\pi l(\xi)} \int_{M^3} \{K(\xi^{\perp}) + 3K(\xi)\} d\nu = 2b_0(M^3) - b_1(M^3) + d_0, \quad (1)$$

где $d_0 = 0$ или 1 в зависимости от четности или нечетности одномерного числа Бетти $b_1(M^3)$; $K(\xi^{\perp})$ – значение римановой кривизны в плоскости, ортогональной ξ ; $K(\xi)$ – значение римановой кривизны для любой плоскости, содержащей ξ (отметим, что $K(\xi)$ не зависит от выбора плоскости); $d\nu$ – форма объема; $l(\xi)$ – длина интегральной траектории поля ξ (она постоянна).

Изменения происходят в области D_0 , поэтому $l(\xi)$ в D_0 характеризует линейный размер l области.

Вычитая из формулы (1), написанной для \widetilde{M}^3 её же, но написанную для M^3 , и имея в виду уравнения Эйнштейна

$$R + K_2 = \frac{16\pi G}{c^4} \varepsilon, \quad K_2 = (K_\alpha^\alpha)^2 - K_{\alpha\beta} K^{\alpha\beta},$$

где $K_{\alpha\beta}$ – тензор внешней кривизны пространственного сечения (считаем, что средняя кривизна не меняется, хотя от этого условия можно избавиться), содержащего корабль, получим

$$\sigma \cdot \left(\frac{1}{v(D_0)} \int_{D_0} \delta\varepsilon d\nu \right) \sim \frac{c^4}{4\pi G} [2\delta b_0 - \delta b_1 + \delta d_0], \quad (2)$$

где $\sigma = V(D_0)/l$, $\delta A = A(\widetilde{M}^3) - A(M^3)$, или

$$\langle \delta\varepsilon \rangle \sim \frac{c^4}{4\pi G\sigma} [2\delta b_0 - \delta b_1 + \delta d_0]. \quad (3)$$

Для 4-мерной кротовой норы $\delta b_0 = 1$, т. к. на 1 увеличивается число компонент связности, $\delta b_1 = 0 - 0 = 0$, $\delta d_0 = 0 - 0 = 0$ поскольку односвязность сохраняется. Поэтому для 4-мерной кротовой норы

$$\langle \delta\varepsilon \rangle \sim \frac{c^4}{4\pi G\sigma} = \frac{c^4}{4\pi G\sigma} [2 \cdot 1 - 0 - 0] > 0. \quad (4)$$

Как видим, для образования 4-мерной кротовой норы варп-двигателю необходима положительная энергия!

А для 3-мерной кротовой норы $\delta b_0 = 0$ в силу того, что число компонент связности не меняется, то $\delta b_0 = 1 - 1 = 0$. Но поскольку односвязность нарушается, появляется ручка, то $\delta b_1 = 1 - 0 = 1$, $\delta d_0 = 1 - 0 = 1$. Следовательно,

$$\langle \delta\varepsilon \rangle \sim -\frac{c^4}{4\pi G\sigma} [2 \cdot 0 - 1 + 1] = 0. \quad (5)$$

Получили достаточно странную оценку, видимо, о чем-то говорящую. Либо о том, что используется и положительная и отрицательная энергия (как в случае варп-двигателя Ван ден Брука, тем более, что считаем среднее значения $\langle \delta\varepsilon \rangle$), а, возможно, говорит о грубости наших оценок. Или о нестабильности 3-мерных кротовых нор.

Посмотрим, что получится, если в пространстве уже была 3-мерная кротовая нора – в всяком случае, в обширном пространстве Вселенной, наверняка существует естественная 3-мерная кротовая нора), и мы порождаем новую под свой космический корабль. В таком случае, $\delta b_0 = 1 - 1 = 0$, $\delta b_1 = 2 - 1 = 1$, $\delta d_0 = 0 - 1 = -1$. Следовательно, при появлении второй 3-мерной кротовой норы

$$\langle \delta\varepsilon \rangle \sim -\frac{c^4}{4\pi G\sigma} [2 \cdot 0 - 1 + (-1)] = -2 < 0. \quad (6)$$

Видим, что для порождения 3-мерной кротовой норы требуется экзотическая материя. Автор, оценив в 1982 году в статье [3], энергию образования кротовых нор,

не стал обращать внимания на ее знак – для топологических перемещений в пространстве, как видно из предыдущего, достаточно использовать 4-мерные кротовые норы и обычную энергию. Об отрицательной же энергии стали говорить после того, как Торн, изначально акцентировав внимание на 3-мерных кротовых норах, которые были нестабильны, для поддержания их стабильности, вынужденно ввел в рассмотрение отрицательную (экзотическую материю), втянув в ее поиски практически всех, кто в той или иной мере исследовал сверхбыстрые перемещения в пространстве или интересовался созданием машины времени.

Литература

1. Pfenning M.J., Ford L.H. Quantum Inequality Restrictions on Negative Energy Densities in Curved Spacetimes. arXiv: gr-qc/9805037v1.
2. Гуц А.К. Топологический характер работы варп-двигателя Алькубьерре при выходе на сверхсветовую скорость // Эффективное обеспечение научно-технического прогресса: исследование задач и поиск решений: сборник статей Международной научно-практической конференции (г. Магнитогорск, РФ, 25 августа 2024г.). Уфа: Аэтерна, 2024. С. 6–9.
3. Гуц А.К. Изменение топологии физического пространства в замкнутой вселенной // Известия вузов. Физика. 1982. № 5. С. 23–26.
4. Гуц А.К. Нарушение связности физического пространства // Известия вузов. Физика. 1983. №.8. С. 3–6.
5. Revenós A. On the Gauss-Bonnet formula on the odd-dimensional manifolds // Tohoku Math. J. 1979. V. 31. no. 2. P. 165–178.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА НА ФОНЕ УДАРНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Е.А. Давыдов¹

¹ davydov@theor.jinr.ru; Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Ударными гравитационными волнами (УГВ) являются гравитационные поля объектов, движущихся с ультрарелятивистской скоростью. С их помощью можно описать широчайший спектр явлений: рассеяние элементарных частиц при сверхвысоких энергиях, процессы слияния чёрных дыр, физику доменных стенок в эпоху космологических фазовых переходов и многое другое. В большинстве реальных процессов УГВ распространяются в веществе, поэтому представляется актуальной задача исследования физики полей на фоне УГВ.

Ранее было детально изучено поведение скалярных полей [1] на фоне УГВ, обладающих pp -геометрией, что означает плоский волновой фронт и параллельно распространяющиеся лучи. Такие УГВ допускают импульсивный предел и могут быть описаны при помощи метрики:

$$ds^2 = -dudv + dy^2 + dz^2 + \delta(u)f(v, y, z)du^2, \quad u = t - x, \quad v = t + x, \quad (1)$$

с ограничением на функцию профиля гравитационной волны: $\partial_v^2 f = 0$.

В представляемой работе мы исследуем электродинамику в пространстве с метрикой (1). В основе нашего метода лежит подход Пенроуза, заключающийся в замене геометрии (1) плоским пространством с разрезом и склейкой вдоль нулевой гиперповерхности со сдвигом (супертрансляцией) координаты $\nu \rightarrow \nu - 2f$. Воздействие УГВ на полевую систему может быть найдено путем решения характеристической задачи Коши с начальными данными на нулевой гиперповерхности — фронте гравитационной волны.

Новым в данной работе является развитие подхода Пенроуза, позволяющее учитывать наличие калибровочных степеней свободы у поля. В качестве конкретного примера применения метода мы исследовали эффект воздействия УГВ произвольного профиля на поле точечного заряда. Оказывается, что в области позади фронта УГВ возникает электромагнитное излучение, а также распространяется ударная электромагнитная волна, описывающая скачок компонент тензора поля, но не сингулярность типа δ -функции.

Распространение ударных электромагнитных волн характерно для электродинамики безмассовых зарядов. Действительно, воздействие УГВ на поле точечного заряда схоже с эффектом присутствия безмассового источника электромагнитного поля на фронте гравитационной волны. Однако в отличие от обычно рассматриваемого случая безмассового заряда, содержащего δ -образную сингулярность в тензоре поля, не позволяющую определить тензор энергии-импульса, в рассматриваемой модели этой проблемы не возникает.

Литература

1. D. V. Fursaev, E. A. Davydov, I. G. Pirozhenko and V. A. Tainov, “Perturbations of classical fields by gravitational shockwaves,” JHEP 11 (2024), 039 [arXiv:2408.05142 [gr-qc]].

КВАЗИ-ОСЦИЛЛЯЦИИ НИЗКИХ МУЛЬТИПОЛЕЙ В СПЕКТРЕ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК СЛЕДСТВИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВАКУУМА

Ю.В. Думин¹

¹ dumin@yahoo.com; Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119234, Москва, Университетский пр-т, д. 13; Институт космических исследований РАН, Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32; Факультет физики НИУ ВШЭ, Россия, 105066, Москва, Ст. Басманная ул., д. 21/4, стр. 5

Хорошо известной проблемой при интерпретации спектра реликтового излучения является аномальное поведение низких мультиполей ($l \leq 10$): во-первых, их амплитуда существенно отличается от теоретических предсказаний и, во-вторых, она имеет квази-осциллирующую структуру. В данной работе предлагается интерпретировать этот эффект как следствие доменной структуры вакуума, формирующейся в ранней Вселенной в результате фазового перехода некоторого скалярного поля (например, поля Хиггса), нарушающего симметрию вакуума. Т.к. доменная решётка расширяется приблизительно с хаббловской скоростью, то её эффекты проявляются на существенно больших масштабах (т.е., в меньших мультиполях), чем, например,

у космических струн (которые имеют тенденцию замыкаться в петли и сжиматься под действием внутреннего натяжения). В первой части работы, исходя лишь из самого общего предположения о монотонной зависимости величины электромагнитных флуктуаций от амплитуды скалярного поля в фазе с нарушенной симметрией, произведена полуэмпирическая оценка количества вакуумных доменов в наблюдаемой области Вселенной. Во второй части, используя простейшую двумерную модель вакуумных доменов, вычислено их влияние на спектр возмущений в области низких мультиполей и показано, что вероятность формирования дополнительных пиков в спектре, вообще говоря, может быть значительной.

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ ВОКРУГ ПЕРВИЧНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР

Ю.Н. Ерошенко¹

¹ *eroshenko@inr.ac.ru*; Институт ядерных исследований РАН

На ранних этапах эволюции Вселенной могли рождаться массивные первичные черные дыры, составляя некоторую часть всей темной материи. Остальная преобладающая часть темной материи может состоять, например, из элементарных частиц или первичных черных дыр с малыми массами. Эта компонента темной материи должна формировать вокруг массивных первичных черных дыр плотные сгущения. На радиационно-доминированной стадии эволюции Вселенной эти сгущения представляют собой плотные пики, в которых возможна сильная аннигиляция частиц темной материи. На пылевидной стадии эволюции Вселенной вокруг первичных черных дыр нарастают массивные гало из темной материи. В данной работе обсуждается структура и свойства пиков с учетом их трансформации в процессе аннигиляции. В гибридном сценарии с первичными черными дырами разных масс возможны двухтельные рассеяния и множественные слияния мелких черных дыр вокруг массивных черных дыр.

МАССА И ПАРАМЕТРЫ ВРАЩЕНИЯ ЗВЕЗД В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

В.М. Журавлев¹

¹ *zhvictorm@mail.ru*; Ульяновский государственный педагогический университет, Лаборатория гравитации, космологии и астрофизики, Ульяновск, Россия

Основой классической теории строения звезд является предположение, что внутренняя структура звезды остается неизменной на протяжении больших промежутков времени [1]. При этом наблюдаемые пульсации звезд и быстропротекающие процессы в них типа вспышек относят к возмущениям основной структуры и рассматривают как процессы первого порядка малости. Такой подход приводит к проблемам с объяснением некоторых явлений, наблюдаемых у Солнца, и, по всей видимости, у других звезд солнечного типа. Примерами могут служить наличие 11-

летнего цикла солнечной активности, а также максимума температуры в короне Солнца порядка $2 \cdot 10^6 \text{ K}$.

Альтернативой статическим моделям звезд является модель их динамического равновесия, развитая в работах [2, 8, 10]. Модель динамического равновесия (МДР) звезд имеет два важных достижения. Первым достижением является вывод о том, что в условиях динамического равновесия существует устойчивое состояние, вблизи которого звезды совершают нелинейные пульсации, обусловленные радиальным и зональным движением среды. Это позволяет получить диаграмму период-светимость пульсирующих звезд в аналитическом виде [8]. Второе достижение состоит в объяснении максимума температуры в короне Солнца, которое является прямым следствием динамического равновесия и должно наблюдаться и у других звезд. В рамках статических моделей наличие максимума в короне Солнца не находило должного объяснения и связывалось с разогревом короны за счет поглощения магнитогидродинамических волн.

Вместе с указанными достижениями МДР содержит ряд важных следствий, которые имеют отношение как к самой теории строения и осцилляций звезд, так и к явлениям, оказывающим существенное влияние на общую теорию тяготения.

Одним из таких следствий, касающихся, по крайней мере, Солнца и звезд этого типа, является наличие ненулевой асимптотики плотности массы вещества в короне и ее влияние на движение планет, близких к Солнцу. Вторым следствием является возможность нарушения устойчивости зонального потока в звездах за счет внешних факторов [10]. Первое из этих следствий ведет к возможному пересмотру причин появления смещения перигелия Меркурия и других планет, близких к Солнцу. Второе следствие дает новое возможное объяснение 11-летнему циклу солнечной активности как эффекта возникновения неустойчивости зонального потока за счет влияния планет Солнечной системы в первую очередь Юпитера.

Литература

1. Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. *Теория тяготения и эволюция звезд*. Наука, Москва (1971)
2. В.М. Журавлев. Модели динамического равновесия астрофизических объектов. ЖЭТФ, 2022, Т. 162, N 6, с. 850-877
3. В.М. Журавлев. Динамическое равновесие и осцилляции химически неоднородных звезд Изв. вузов. Поволжский регион. Серия физико-математическая, 2023, N 4, с. 158-188
4. В.М. Журавлев. Масса и параметры вращения звезд в условиях динамического равновесия. Известия вузов. Поволжский регион. Физико-математические науки, 2024, N3 (в печати)

ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ СПЛОШНОЙ САМОГРАВИТИРУЮЩЕЙ СРЕДЫ И 'ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ'

В.М. Журавлев¹

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

Одной из наиболее важных проблем современной астрофизики является расхождение в **наблюдаемых** кривых вращения дисковых галактик с **предсказанными** на основе наблюдений их поверхностной яркости. Это расхождение объясняется наличием эффекта скрытой массы или “темной материи” [1, 2]. Для объяснения эффекта скрытой массы привлекают две основные гипотезы, которые выходят за рамки классической теории тяготения. Первая состоит в том, что на больших масштабах существует экзотическая форма материи, взаимодействующая с обычным веществом только за счет сил тяготения. Именно этот подход именуется эффектом “темной материи”. Второй подход сводится к модификациям классического закона тяготения Ньютона. Основным примером такого подхода является теория MOND [3, 4]. Оба подхода не дают на сегодняшний день исчерпывающего объяснения эффекта скрытой массы.

В основе представлений об эффекте скрытой массы, связанных с данными о вращении галактик, лежит классический способ вычисления напряженности поля тяготения в самогравитирующей сплошной среде, основанный на теории тяготения Ньютона. Для описания поля тяготения в сплошной среде предложен новый метод, разработанный в топологической теории фундаментальных полей (ТТФП) [5, 6]. Эта теория является альтернативой Общей теории относительности (ОТО). При этом ТТФП, как и ОТО, для объяснения свойств материи, ее динамики и структуры опирается на геометрические и топологические методы.

Данный метод описания поля тяготения при определенных условиях может в точности соответствовать классической теории тяготения [7]. Но в случае невыполнения этих условий приводит к появлению эффекта скрытой массы. Эти условия в первую очередь связаны со свойствами самой сплошной среды - наличием в ней частиц с различной массивностью [8–10]. Это позволяет выявить общие требования к форме представления напряженности поля тяготения, которые дают, с одной стороны, решение задачи классической теории тяготения Ньютона для сплошной самогравитирующей среды, а с другой - новый способ описания эффекта скрытой массы. На основе нового способа представления напряженности поля тяготения кратко анализируется задача о динамическом равновесии дисковых структур, в том числе галактик, и обосновывается эффективность нового подхода для описания эффекта скрытой массы (“темной материи”).

Литература

1. J. Einasto. Dark Matter. arXiv:0901.0632v1 (2009)
2. А. В. Засов, А. С. Сабурова, А. В. Хоперсков, С. А. Хоперсков, УФН, **187**, номер 1, 3–44 (2017)
3. M. Milgrom. A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis. *Astrophys. J.* 270, 365 (1983).
4. Stacy S. McGaugh. A Novel Test of the Modified Newtonian Dynamics with Gas Rich Galaxies. arXiv:1102.3913v1
5. V. M. Zhuravlev. *Gravitation and Cosmology*, **23**, N. 2, 95 (2017)
6. V. M. Zhuravlev. *Gravitation and Cosmology*, **28**, N 4, 319 (2022)
7. Журавлев В.М. Поле тяготения сплошной самогравитирующей среды и “темная материя”. Письма в ЖЭТФ. том 120, вып. 6, с. 400 – 408

8. В.М. Журавлев, Известия вузов. Поволжский регион. Физико-математические науки. N 4, 158 (2023)
9. В.М. Журавлев, Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. N 1, 54 (2024)
10. В.М. Журавлев, Известия вузов. Поволжский регион. Физико-математические науки. N3, (2024)

$\mathcal{N} = 2$ СУПЕРТОКИ И СУПЕРМУЛЬТИПЛЕТ ГРАВИТИНО

Н.М. Заиграев¹

¹ nikita.zaigraev@phystech.edu; ОИЯИ, МФТИ

Доклад посвящен построению простейшего калибровочного $\mathcal{N} = 2$ супермультиплет полуцелого спина – $\mathcal{N} = 2$ супермультиплет гравитино. Для построения такого супермультиплет сначала анализируются глобальные симметрии свободного действия $\mathcal{N} = 4$ векторного мультиплет, сформулированного в $\mathcal{N} = 2$ гармоническом суперпространстве. Затем, после калибрования глобальных симметрий, определяются $\mathcal{N} = 2$ супертоки и соответствующие им законы сохранения и калибровочные препотенциалы. Используя препотенциалы строится калибровочно инвариантное действие, описывающее $\mathcal{N} = 2$ суперконформный мультиплет гравитино.

ИНТЕГРИРУЕМОСТЬ ТРИ-ВЕКТОРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДВУМЕРНЫХ СИГМА-МОДЕЛЕЙ

Г.С. Зверев¹

¹ zverev.gs@mipt.ru; Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Интегрируемость различных физических систем является важным свойством, так как для классических систем мы можем построить набор интегралов движения, а для квантовых — найти спектр. Для анализа классических полевых систем, таких как двумерные σ -модели, используется формализм Лакса–Захарова–Шабата.

Помимо данного аналитического метода исследования интегрируемости системы, существуют методы, основанные на анализе её фазового пространства. В частности, фазовое пространство интегрируемой системы заполняется замкнутыми фазовыми траекториям, называемыми, по классификации Ляпунова, центрами. Но для систем с $2N$ -мерным фазовым пространством, где $N > 1$, возникают очевидные трудности с его представлением. Поэтому, в таком случае используются так называемые сечения Пуанкаре, изображающие точки пересечения фазовой траекторией некоторой плоскости в фазовом пространстве. В случае анализа интегрируемой системы данные сечения будут показывать так называемые КАМ-торы.

Такой подход, использующий знание о фазовом пространстве системы, может быть использован и для полевых систем, в частности для струнных σ -моделей на

различных фонах, решающих уравнения 10-мерной супергравитации. Для этого необходимо свести задачу к динамической системе с конечным числом степеней свободы и использовать гамильтоновы уравнения движения.

В настоящей работе рассматриваются три-векторные деформации Янга–Бакстера различных десятимерных фонов и анализируется динамика двумерных σ -моделей над ними. Используя численные методы, изучается классическое фазовое пространство данной системы, в частности поведение КАМ-торов при различных параметрах деформации. Полученные результаты согласуются с аналитическими, а также служат мотивацией к будущему исследованию моделей, фазовые траектории которых демонстрируют поведение интегрируемой системы.

ТЕНИ ЧЕРНЫХ ДЫР В РАСШИРЕННЫХ ТЕОРИЯХ ГРАВИТАЦИИ: УЧЕТ ВРАЩЕНИЯ

О.И. Зенин¹, С.О. Алексеев²

¹ dkiiiabu4@gmail.com; ФФ МГУ

² salexeyev@gmail.com; ГАИШ МГУ

Новые данные, полученные с помощью Event Horizon Telescope (ЕНТ) для черных дыр в галактике М87 [1] и в центре нашей галактики Sgr A* [2] требуют улучшений в теоретических предсказаниях, особенно в отношении профилей теней черных дыр (ЧД). С самого начала было очевидно, что обе исследуемые ЧД вращаются, а недавно была измерена скорость вращения М87* [3]. В то же время, поиск аксиально симметричной метрики путем прямого решения уравнений Эйнштейна–Гильберта оказывается непростой задачей. Поэтому был предложен альтернативный метод (алгоритм Ньюмена–Яниса) для генерации вращающихся решений из невращающихся [4]. Недавно были выполнены моделирования для модели бамбелби [5]. В этой статье отмечается интересное явление: когда рассматривается метрика типа Керра с дополнительными параметрами (например, приливным зарядом), эти новые параметры могут изменить размер и форму тени. Поэтому, если (после улучшения экспериментальной точности) ЕНТ обнаружит, что тень не совсем соответствует метрике Керра, это позволит оценить вклад приливного заряда. Это означает, что будет измерен вклад новой физики.

Мы получаем вращающиеся решения черной дыры для теории Хорндески (частный случай), модели бамбелби, скалярной гравитации Гаусса–Боннэ, петлевой квантовой гравитации, конформной гравитации и $f(Q)$ гравитации, используя специально улучшенный алгоритм Ньюмена–Яниса. Были рассчитаны профили теней ЧД для этих метрик. Применяя данные ЕНТ, ограничиваются параметры рассмотренных расширенных теорий гравитации. Мы показываем, что для рассмотренных моделей часть из них (теория Хорндески и скалярная гравитация Гаусса–Боннэ) ослабляют эффект вращения, а модель бамбелби усиливает его [6, 7]. Для остальных рассмотренных моделей этот эффект также присутствует, но работает менее линейно. Этот вывод совпадает с ранее полученным выводом о том, что расширенные теории гравитации сами по себе корректируют эффект вращения в обоих направлениях [8].

Также стоит отметить, что из-за наличия дополнительных параметров теории и более сложной структуры решений возникают критические значения параметра вращения a_{crit} [6, 7]. Это явление присутствует во всех рассмотренных нами теориях, кроме модели Хорндески и скалярное-тензорной гравитации Гаусса-Боннэ (однако в данной теории мы рассматривали $\xi < 0.3$, требуемое для существования фотонной сферы и за это ограничения не выходили).

По оценки близости значения параметра смещения к Керровскому можно сделать вывод, что модели Хорндески, бамбелби и скалярная гравитация Гаусса-Боннэ наилучшим образом и с минимальным количеством дополнительных параметров и ограничений работают в качестве основы для моделирования профилей теней ЧД. Скорее всего, наилучшие результаты стоит ожидать от модели Хорндески (особенно с учетом того, что в данной теории возможно получение новых типов решений).

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

Литература

1. K. Akiyama, et al., *Astrophys. J.* 875 (1) L5 (2019).
2. The Event Horizon Telescope Collaboration, *Astrophys. J.* L17 (2022).
3. Cui, Y.; others. *Nature* 621, 711–715, (2023).
4. Newman, E.T.; Janis, A.I., *J. Math. Phys.* 6,915–917, (1965).
5. Capozziello, S.; Zare, S.; Hassanabadi, H., (2023); <https://arxiv.org/abs/2311.12896>
6. С. О. Алексеев, А. А. Байдерин, О. И. Зенин *Тени черных дыр в моделях Хорндески и бамбелби: учет вращения, ЭЧАЯ*, принято к печати, **56**, (2025).
7. С. О. Алексеев, А. А. Байдерин, О. И. Зенин *Моделирование теней черных дыр в расширенных теориях гравитации: учет вращения и связанные эффекты, ЖЭТФ*, на рассмотрении.
8. Алексеев С.О., Байдерин А.А., Немтинова А.В., Зенин О.И., *ЖЭТФ*, 165, Вып. 4, 508 (2024)

N=2 СУПЕРСИММЕТРИЧНЫЕ ВЫСШИЕ СПИНЫ ИЗ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ГРАССМАНОВОЙ АНАЛИТИЧНОСТИ

Е.А. Иванов¹

¹ eivanov@theor.jinr.ru; ЛТФ ОИЯИ, Дубна

Принцип сохранения гармонической аналитичности был сформулирован около 40 лет назад для геометрического суперполевого описания вне массовой оболочки всех представляющих интерес $\mathcal{N} = 2, 4D$ суперсимметричных теорий полей с максимальными спинами 1, 2 и $1/2$ ($\mathcal{N} = 2$ теории Янга-Миллса, супергравитации и гипермультиплетов материи) [1,2]. Недавно было показано, что этот принцип позволяет построить неизвестные ранее аналогичные формулировки калибровочных $\mathcal{N} = 2$ теорий высших спинов в терминах аналитических $\mathcal{N} = 2$ суперполей без связей, как в конформном, так и неконформном случаях [3,4,5,6,7,8]. В докладе рассказывается об этих новых теориях с упором на последние результаты, а также кратко обсуждаются перспективы их дальнейших применений.

Литература

1. A. S. Galperin, E. A. Ivanov, S. Kalitzin, V. I. Ogievetsky, E. S. Sokatchev, *Unconstrained $\mathcal{N} = 2$ Matter, Yang-Mills and Supergravity Theories in Harmonic Superspace*, Class. Quant. Grav. **1** (1984) 469-498 [Erratum: Class. Quant. Grav. **2** (1985) 127].
2. A. S. Galperin, E. A. Ivanov, V. I. Ogievetsky, E. S. Sokatchev, *Harmonic superspace*, Cambridge Monographs on Mathematical Physics, Cambridge University Press, 2001, 306 p.
3. I. Buchbinder, E. Ivanov, N. Zaigraev, *Unconstrained off-shell superfield formulation of 4D, $\mathcal{N} = 2$ supersymmetric higher spins*, JHEP **12** (2021) 016, [arXiv:2109.07639 [hep-th]].
4. I. Buchbinder, E. Ivanov, N. Zaigraev, *Off-shell cubic hypermultiplet couplings to $\mathcal{N} = 2$ higher spin gauge superfields*, JHEP **05** (2022) 104, [arXiv:2202.08196 [hep-th]].
5. I. Buchbinder, E. Ivanov, N. Zaigraev, *$\mathcal{N} = 2$ higher spins: superfield equations of motion, the hypermultiplet supercurrents, and the component structure*, JHEP **03** (2023) 036, [arXiv:2212.14114 [hep-th]].
6. I. Buchbinder, E. Ivanov, N. Zaigraev, *$\mathcal{N} = 2$ superconformal higher-spin multiplets and their hypermultiplet couplings*, JHEP **08** (2024) 120, [arXiv:2404.19016 [hep-th]].
7. E. Ivanov, *Higher Spins in Harmonic Superspace*, Teor. Mat. Fiz. **217** (2023) 515-532 [Theor. Math. Phys. **217** (2023) 1855-1869], [arXiv:2306.10401 [hep-th]].
8. N. Zaigraev, *$\mathcal{N} = 2$ higher-spin supercurrents*, Phys. Lett. B **858** (2024) 139056, [arXiv:2408.00668 [hep-th]].

СКАЛЯРНО-ГРАВИТАЦИОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ КАК МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ СВЕРХМАССИВНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР В РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

Ю.Г. Игнатьев¹

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

Сформулирована модель идеальной жидкости со скалярным зарядом, на основе которой построены модель с нейтральной жидкостью и вакуумно - полевая модель с правилами перехода между ними. Проведен качественный анализ полученных динамических систем и проведено их численное моделирование. Сформулирована математическая модель плоских продольных скалярно-гравитационных возмущений фридмановской идеальной заряженной жидкости с хиггсовым взаимодействием. Показано, что в отсутствие жидкости, т.е., в вакуумно-полевой модели, гравитационные возмущения не возникают. Возмущения же скалярного поля возможны лишь в тех случаях, когда в невозмущённом состоянии космологическая система находится в особых точках. Для этих случаев найдены точные решения полевого уравнения, выражающиеся в функциях Бесселя I-го II-го рода и описывающие затухающие колебания в случае устойчивого невозмущённого состояния и нарастающие – в случае неустойчивого невозмущённого. Построена WKB-теория плоских скалярно-гравитационных возмущений: получены в общем виде дисперсионные уравнения, которые решены в случае нейтральной жидкости. В этом случае получены выражения для локальной частоты и инкремента

роста колебаний, а также интегрального инкремента. Показано, что в процессе эволюции возможны лишь режимы свободных волн либо растущих стоячих колебаний. Исследованы возмущения в WKB-приближении в нейтральной жидкости и показано, что локальные формулы эволюции возмущений соответствуют модели статьи 1985 года М.Ю. Хлопова, Б.А. Маломеда и Я.Б. Зельдовича. Определены времена начала и конца фазы неустойчивости и показано, что неустойчивость может развиваться только на неустойчивой инфляционной стадии расширения Вселенной. Построена математическая модель эволюции сферических возмущений в космологической идеальной скалярно заряженной жидкости со скалярным хиггсовым взаимодействием. Сформулирована замкнутая математическая модель линейных сферических возмущений в космологической среде скалярно заряженной идеальной жидкости со скалярным хиггсовым взаимодействием. Показано, что сферические возмущения метрики Фридмана возможны лишь при наличии изотропной жидкости. В особых же точках фоновой космологической модели возмущения метрики не возникают и возмущения описываются вакуумно-полевой моделью. Получены точные в особых точках космологической системы и показано, что в случае устойчивой особой точки космологической системы возмущения скалярного поля представляют бегущие волны, а в случае неустойчивой особой точки возмущения представляют экспоненциально растущие стоячие волны. С помощью численного моделирования показано образование стратифицированного гало в форме растущих стоячих волн.

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ ФОТОНОВ В ПРОСТРАНСТВЕ–ВРЕМЕНИ ДИНАМИЧЕСКОЙ КРОВОЙ НОРЫ

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

Основной проблемой физики кротовых нор является тот факт, что для их существования необходима экзотическая материя, которая нарушает световое энергетическое условие. Однако некоторые типы кротовых нор могут существовать без нее. В статье [1] была описана модель динамической кротовой норы, заполненной пылью, и для поддержания которой не требуется экзотическая материя. Данная кротовая нора находится во вселенной Фридмана, является проходимой и может существовать достаточно длительное время. Благодаря этому она является очень интересным объектом для изучения с точки зрения наблюдательной астрофизики. Каковы линзирующие свойства данной кротовой норы? Как выглядит ее тень? В данной работе мы делаем первый шаг для ответа на эти вопросы. Мы получаем уравнения геодезических для фотонов, двигающихся в пространстве–времени данной кротовой норы, и строим их траектории в приближении малого параметра расширения η .

Литература

1. K. A. Bronnikov, P. E. Kashargin and S. V. Sushkov, "Possible Wormholes in a Friedmann Universe", Universe 9 (2023), 465

УСИЛЕННОЕ ОПТОМЕХАНИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В НЕСИММЕТРИЧНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ МАЙКЕЛЬСОНА-САНЬЯКА

А.В. Карпенко¹, С.П. Вятчанин²

¹ *alkarpenko_1999@mail.ru*; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Ленинские горы, Москва 119991, Россия; Центр квантовых технологий, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, Москва 119991, Россия

Современные квантовые технологии позволяют измерять малые силы и перемещения с беспрецедентной точностью. В основном это достигается за счет использования оптомеханических систем [1]. Такие системы зарекомендовали себя, как наиболее чувствительные датчики малых смещений. Учет оптомеханических эффектов играет ключевую роль в прецизионных измерениях в детекторах гравитационных волн.

Предельная чувствительность оптомеханических датчиков ограничена хорошо известным стандартным квантовым пределом (СКП)[2], который является результатом взаимосвязи между флуктуациями фазы падающего света (ошибка измерения) и квантовым шумом давления излучения (КШДИ).

Существует три вида оптомеханической связи: дисперсионная, диссипативная и когерентная. Связь, при которой смещение механического тела изменяет собственные частоты оптического резонатора, называется дисперсионной. При диссипативной связи смещение механического тела изменяет ширину частотной полосы резонатора, то есть связь резонатора с внешним миром. При когерентной связи смещение зеркал вызывает когерентный обмен между двумя оптическими модами.

В данной работе мы исследуем системы, в которых реализуется комбинация дисперсионной и диссипативной оптомеханических связей. В предшествующей работе [3] мы показали, что в системах с комбинацией связей появляется оптическая жесткость, что даёт возможность использовать их для лазерного охлаждения макроскопических механических осцилляторов. Получить такую комбинацию можно с помощью интерферометра Майкельсона-Саньяка (ИМС) [4]. В данной работе предлагается конфигурацию ИМС с несимметричным светоделителем. ИМС считается перспективной системой для работы с низкочастотными осцилляторами с большой массой, что имеет решающее значение для многих экспериментов с гравитацией, изучения фундаментальных аспектов квантовой механики и экспериментальных поисков квантовой гравитации.

Обычно несимметричный светоделитель рассматривается как помеха в интерферометрических экспериментах, что было показано, например, в [5]. В нашей схеме мы используем эту асимметрию для оптимизации комбинации диссипативной

и дисперсионной связей с целью повышения их силы. Мы исследуем эту комбинацию связей и показываем, как она может быть использована для лазерного охлаждения механического осциллятора даже при резонансной накачке, что не характерно для систем с чистой дисперсионной связью, а также для наблюдения КШДИ и пондеромоторного сжатия квадратур электромагнитного поля. Мы показываем, что большой дисбаланс светоделиителя позволяет резко увеличить оптическую жесткость системы, что, в свою очередь, позволяет увеличить охлаждение механического осциллятора. Мы также формулируем условия для наблюдения КШДИ, пондеромоторного сжатия и эффективного охлаждения в настольном эксперименте с микромеханической мембраной. Такой эксперимент будет иметь решающее значение для распространения подхода на осцилляторы большой массы.

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

П.Е. Кашаргин¹, А.А. Лебедев², С.В. Сушков³

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

² lebedev.aleks2012konnor@yandex.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет; г. Казань, 420008. Россия

³ sergey_sushkov@mail.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет; г. Казань, 420008. Россия

Нейтронные звезды (НЗ) рассматривались в различных модифицированных теориях гравитации. В данной работе исследуются внутренние конфигурации НЗ в скалярно – тензорной теории гравитации, относящейся к классу Хорндески, – кинетическое слагаемое скалярного поля связано с тензором Эйнштейна. Ранее были получены результаты для радиусов и масс при различных значениях модельных параметров, но применительно к политропному уравнению состояния (УС) [1]. Здесь будут рассмотрены свойства также и более реалистичных форм зависимостей давления от плотности вещества. Кроме того, будут построены диаграммы ‘Масса – Радиус’ для различных значений параметра неминимальной связи, а также будут получены ограничения, накладываемые на используемые УС.

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*, 2205.08949 (2023).

КВАДРАТИЧНЫЕ ПОПРАВКИ В ГОЛОМОРФНОМ СЕКТОРЕ УРАВНЕНИЙ ВЫСШИХ СПИНОВ В РАМКАХ ПОДХОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ГОМОТОПИИ II

Ф.Т. Киракосьянц¹

¹ kirakosiants.ft@phystech.edu; МФТИ, ФИАН

Доклад посвящен применению нового подхода дифференциальной гомотопии к анализу уравнений взаимодействующих полей высших спинов. Затрагивается вопрос о локальности теории. Система уравнений сформулирована с добавлением вспомогательных переменных и полей (Васильев, 1992). Редукция к физическому сектору теории позволяет находить вершины взаимодействия. При этом возникают уравнения вида $df = g$, неоднозначность решения которых приводит к вершинам различной степени нелокальности. Для поиска вершин с минимально возможным числом производных используется метод дифференциальной гомотопии (Васильев, 2023), эффективность которого показывается в голоморфном секторе теории вплоть до второго порядка теории возмущений.

О ВОЗМОЖНОМ СЦЕНАРИИ ОБРАЗОВАНИЯ РЕЛИКТОВЫХ КРОТОВЫХ НОР

А.А. Кириллов¹, Е.П. Савелова²

¹ ka98@mail.ru; МГТУ им. Н.Э. Баумана

² sep_22.12.79@inbox.ru; МГТУ им. Н.Э. Баумана

Показано, что при наличии виртуальных кротовых нор вакуум нестабилен, что приводит к серии фазовых переходов в ранней Вселенной. Тогда стандартный сценарий Киббла предсказывает образование дефектов типа доменных стенок. Необычная особенность виртуальных нор заключается в том, что они порождают дефекты обладающие отрицательной плотностью энергии. Подобные дефекты имеют макроскопические размеры и могут поддерживать горловины уже реальных первичных кротовых нор, что дает основание рассматривать реликтовые кротовые норы как реалистичные астрофизические объекты.

О СВОЙСТВАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ КРОТОВЫХ НОР В ВАКУУМЕ

А.А. Кириллов¹, Е.П. Савелова²

¹ ka98@mail.ru; МГТУ им. Н.Э. Баумана

² sep_22.12.79@inbox.ru; МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассматривается модель пространственно-временной пены в виде произвольного распределения сферических евклидовых кротовых нор. Предложен метод построения точного решения евклидовых уравнений Эйнштейна для метрики соответствующей данной модели. Получено явное выражение для евклидова действия

и его зависимости от параметров кротовых нор. Показано, как полученные решения позволяют определить все возможные корреляционные функции, связанные с параметрами виртуальных кротовых нор в вакууме.

АКСИОННОЕ РАСШИРЕНИЕ ТЕОРИИ ЭЙНШТЕЙНА-ЯНГА-МИЛЛСА: РАСПАД ЦВЕТНОГО ЭФИРА И ОБРАЗОВАНИЕ АКСИОННОЙ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Г.Б. Киселев¹, А.Б. Балакин²

¹ *kiselev.gleb.97@gmail.com*; Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Институт физики, Кафедра теории относительности и гравитации, Кремлевская 16А, Казань 420008, Россия

² *alexander.balakin@kpfu.ru*; Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Институт физики, Кафедра теории относительности и гравитации, Кремлевская 16А, Казань 420008, Россия

Исследуется $SU(N)$ -симметричная модель взаимодействия между гравитационным, калибровочным, векторным и псевдоскалярным (аксионным) полями. Космический субстрат, названный термином цветной эфир, описывается с помощью $SU(N)$ -симметричного мультиплета векторных полей; выдвинута гипотеза, что именно его распад в ранней Вселенной породил канонический динамический эфир и реликтовую аксионную темную материю. Процесс перехода от симметричного цветного эфира в динамический описан на языке спонтанной цветовой поляризации [1], которая сопровождается спонтанным выстраиванием мультиплета векторных полей вдоль выделенного направления в цветовом пространстве.

$SU(N)$ -симметричное поле Янга-Миллса, связанное с цветным эфиром, образует источник, передающий энергию распадающегося цветного эфира в аксионное поле. Нелинейная модификация модели, явно учитывающая требование дискретной симметрии аксионного поля, основана на аналогии с нелинейным физическим маятником. Показано, что в рамках этой нелинейной модели аксионное поле может аномально возрастать, что в принципе объясняет обилие аксионной темной материи во Вселенной [2].

В качестве приложения рассматривается $SU(2)$ симметричная теория взаимодействия калибровочного и аксионного полей как неабелев аналог $U(1)$ симметричной модели аксионно-индуцированной генерации электрического поля в эфирной среде с магнитным полем [3].

Литература

1. Balakin A.B., Kiselev G.B. *Universe*, 2020, 6, 95.
2. Balakin A.B., Kiselev G.B. *Symmetry* 2022, 14, 1621.
3. Балакин А.Б., Киселев Г.Б. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2023. № 1. С. 12-15.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА В ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

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

¹ *kozyrev@dulkyn.ru*; Научный центр гравитационно-волновых исследований "Дулкын", ул. Лядова, д. 12, г. Казань, 420036, Россия

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

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

Обычно игнорируется важная особенность теории Эйнштейна и родственных релятивистских теорий гравитации здесь, по существу, решается обратная задача, неявно предполагается существование касательного пространства, в котором задается арифметизация, базовый репер и координатные условия

$$F_{\gamma} \left(x^{\alpha}, g_{\mu\nu}(x^{\alpha}), \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^{\alpha}} \right) = 0, \quad (1)$$

которые выступают в качестве четырех дополнительных нековариантных уравнений.

Уравнения Эйнштейна

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = T_{\mu\nu}. \quad (2)$$

и решения этих уравнений существуют в совершенно разных геометрических структурах. В общей теории относительности уравнения Эйнштейна записаны в абстрактном точечном многообразии M . Решения этих уравнений ищутся в касательном пространстве которое в общей теории относительности возникает как независимая структура. Все геометрические построения (метрика, связанность, тензор кривизны и др.) выполняются именно в локальных касательных пространствах. В теории гравитации после решения полной системы уравнений (2), (1) векторы A этого касательного пространства с сохранением всех линейных зависимостей между ними, отображаются на искомое риманово пространство. Однако, здесь в отличие от аффинного и евклидова пространств не существует однозначной связи между этими двумя множествами. Более того обратная задача не всегда может иметь единственное решение.

Произвол задания начальных направлений для отсчета углов, в рамках ОТО приводит к тому, что нельзя ковариантно разделить эффекты неинерциальности систем отсчета и гравитации. Таким образом, пока не получены решения уравнений Эйнштейна мы не можем ввести ни системы координат, ни системы отсчета.

Таким образом структура метрического тензора $g_{\mu\nu}$ пространства, получаемого из решения уравнений Эйнштейна, определяется заданием в каждой точке касательного пространства полем единичных векторов т.е. пространственно-временных эталонов, которые определяются координатными условиями. Результаты решения системы уравнений Эйнштейна нековариантны относительно локальных лоренцевых преобразований, а также произвольных преобразований координат. Такие преобразования можно рассматривать как преобразования, описывающие переход к неинерциальной и нежесткой системе отсчета от системы либо инерциальной, либо неинерциальной. Тогда система отсчета задается полем единичных

векторов, неголономным базисом. Таким образом начинает сказываться неголономность закона изменения компонент координатных реперов, т. е. связанность уже не будет выражаться через символы Кристоффеля.

Если же предположить, что задание начальных направлений определяет физически выделенные направления и пространственно-временные точки то каждое новое решение уравнений Эйнштейна будет приводить к новым физическим реалиям. Таким образом необходимо аналитически отличать переход от одной физической ситуации к другой. Так например, наложение дополнительных условий гармоничности

$$\Gamma_{\mu\nu}^{\beta} g^{\mu\nu} = 0. \quad (3)$$

по мнению Фока исключает все фиктивные поля тяготения.

УТОЧНЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ МАССЫ СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО КАК ЧАСТИЦ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНОК ФАЗОВОЙ ПЛОТНОСТИ В КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИКАХ

Е. Корешкова¹, Д. Горбунов², Ф. Безруков³

¹ koreschkova.ep20@physics.msu.ru; Кафедра физики частиц и космологии, Физический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; Институт ядерных исследований Российской академии наук

² gorby@inr.ac.ru; Институт ядерных исследований Российской академии наук; Московский физико-технический институт

³ fedor@inr.ac.ru; Кафедра микробиологии и молекулярной медицины, Женевский университет

Как известно, в карликовых сфероидальных галактиках преобладает темная материя, что делает их перспективными системами для проверки моделей темной материи с помощью астрофизических наблюдений. Один из таких подходов основан на оценке фазовой плотности галактической темной материи: сравнение фазовой плотности в галактике с фазовой плотностью частиц темной материи, рожденных в ранней Вселенной, позволяет установить нижние границы массы таких частиц. Полученные оценки в основном применимы для моделей теплой темной материи, хорошо известным примером которых являются стерильные нейтрино. С помощью кода GravSphere и самых последних наблюдений звездной динамики в ряде карликовых сфероидальных галактик мы получаем фазовую плотность темной материи и уточняем предыдущие нижние границы массы стерильных нейтрино в моделях с нерезонансными механизмами рождения. Мы расширяем это исследование альтернативным подходом, используя Excess Mass функцию, что дает численно более строгие оценки. В частности, используя максимум фазовой плотности, мы получаем оценку $m_s > 0.75$ кэВ на уровне 95%; используя Excess Mass функцию мы получаем $m_s > 2.06$ кэВ на уровне 95%. Оба метода могут быть использованы для изучения других моделей с более сложными механизмами, действующими в ранней Вселенной при образовании темной материи, состоящей из стерильных нейтрино. В этой работе мы устанавливаем ограничения на параметры моделей с дополнительными скалярами, нестандартными взаимодействиями нейтрино и т.д.

ВЛОЖЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНЫХ СТАТИЧЕСКИХ МЕТРИК В КОНТЕКСТЕ ПРЕДЕЛА СЛАБОГО ПОЛЯ В ТЕОРИИ ВЛОЖЕНИЯ

С.С. Купцов¹, С.А. Пастон², А.А. Шейкин³

¹ skup.sov@yandex.ru; ПОМИ РАН, Санкт-Петербург, Россия

² СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

³ СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Теория вложения [1] – это альтернативная теория гравитации, в рамках которой делается предположение о том, что наше пространство-время представляет собой четырёхмерную поверхность в плоском объемлющем пространстве большей размерности. Метрика считается индуцированной и выражается через функцию вложения $y^a(x^\mu)$ как $g_{\mu\nu} = \partial_\mu y^a \partial_\nu y^b \eta_{ab}$. Роль независимой переменной теперь играет именно функция y^a , а не метрика. С учётом того, что гравитационных степеней свободы здесь должно быть столько же, сколько и в ОТО, размерность объемлющего пространства выбирается равной десяти, т.е. индекс $a = 0, \dots, 9$. Уравнения движения при этом обобщают уравнения Эйнштейна и имеют вид $D_\mu ((G^{\mu\nu} - \kappa T^{\mu\nu}) \partial_\nu y^a) = 0$.

Поскольку все решения уравнений Эйнштейна являются и решениями теории вложения, интерес представляют "неэйнштейновские" решения, существование которых ОТО не предсказывает. С их помощью можно попытаться объяснить природу тёмной материи и энергии без введения каких-либо дополнительных полей материи. Один из шагов в этом направлении – анализ уравнений для слабых гравитационных полей, то есть для таких конфигураций y^a , на которых индуцированная метрика близка к $\eta_{\mu\nu}$. В рамках этого предположения можно рассматривать как нерелятивистский предел теории вложения [2], так и линеаризацию уравнений по y^a [3]. Предельные уравнения переписываются в терминах гравитационного потенциала. Зная эти уравнения, можно проверить, удовлетворяет ли им модельные профили распределения тёмной материи [4], [5], с помощью которых описываются наблюдаемые кривые вращения галактик.

Как нерелятивистский, так и линейный пределы предполагают наличие фона \bar{y}^a , такого что $\partial_\mu \bar{y}^a \partial_\nu \bar{y}^a = \eta_{\mu\nu}$. Это уравнение допускает множество решений, поэтому в теории вложения, в отличие от ОТО, возникает проблема выбора фона. Подходящие варианты предлагается искать среди вложений, отвечающих симметрии $SO(3) \times T^1$. Переменные тогда разделяются, и решение можно найти явно. При этом, однако, возникает задача перечисления всех возможных десятимерных вложений с заданной симметрией. По аналогии с шестимерным случаем [6], эта задача была решена, и все возможные 52 класса вложений были найдены и структурированы. Наложение физических и технических ограничений (требование нерелятивизма некоторых токов в объемлющем пространстве [2] и невырожденности второй основной формы) отсекают все классы кроме одного. Этот класс содержит в себе искомое плоское вложение, которое, с учётом сделанных ограничений и с точностью до одной произвольной функции, представляет собой единственно возможный фон для предельных уравнений теории вложения.

Литература

1. Regge, T.; Teitelboim, C. General relativity à la string: A progress report. Proceedings of the First Marcel Grossmann Meeting, Trieste, Italy, 1975; Ruffini, R., Ed.; , 1977; pp. 77–88.
2. Paston, S.A. Non-relativistic limit of embedding gravity as General Relativity with dark matter. *Universe* **2020**, *6*, 163, doi:10.3390/universe6100163.
3. Kuptsov, S.; Ioffe, M.V.; Manida, S.N.; Paston, S.A. Weak Field Limit for Embedding Gravity *Universe* **2022**, *8*, 635, doi:10.3390/universe8120635.
4. Di Paolo, C.; Salucci, P. Fundamental properties of the dark and the luminous matter from Low Surface Brightness discs. arXiv:2005.03520
5. Burkert, A. The Structure of Dark Matter Halos in Dwarf Galaxies. *Astrophys. J.* **1995**, *447*, L25, doi:10.1086/309560.
6. Paston, S.A.; Sheykin, A.A. Embeddings for Schwarzschild metric: Classification and new results. *Class. Quant. Grav.* **2012**, *29*, 095022, doi:10.1088/0264-9381/29/9/095022.

НЕАБЕЛЕВЫ Т-ДУАЛЬНОСТИ В РАЗМЕРНОСТИ 4

А.С. Куренкова¹

¹ angelinakurenkova16108@gmail.com; МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Неабелева Т-дуальность действует на фоне пространств с общим набором некоммутирующих изометрий и может быть описана с помощью алгебраической структуры, именуемой Классическим Дублем Дринфельда, что позволяет изучать теорию алгебраически, не обращая к виду действия теории. Дубль Дринфельда образован двумя алгебрами g и \tilde{g} одинаковой размерности и определяется следующими коммутационными соотношениями:

$$\begin{aligned} &= f_{ab}{}^c T_c, \\ [\tilde{T}^a, \tilde{T}^b] &= \tilde{f}_c{}^{ab} \tilde{T}^c, \\ [T_A, T_B] &= F_{AB}{}^C T_C. \end{aligned} \quad (1)$$

где T_a и \tilde{T}^a генераторы алгебр g и \tilde{g} , а $T_A = (\tilde{T}^a, T_a)$ генераторы полученного Дубля. В данной работе Дубль Дринфельда строится на четырехмерных алгебрах Ли, непредставимых в виде произведения трехмерных алгебр Ли и одномерного абелевого фактора, поэтому индексы $a, b, c.. = 1, ..4$, а $A, B, C.. = 1, ..8$. При этом предполагается

$$F_{abc} = 0, \quad F_{ab}{}^c = f_{ab}{}^c, \quad F_a{}^{bc} = \tilde{f}_a{}^{bc}, \quad F^{abc} = 0. \quad (2)$$

Нетривиальные коммутационные соотношения между T_a и \tilde{T}^a тогда имеют вид

$$[T_a, \tilde{T}^b] = F_a{}^{bc} T_c + F_{ac}{}^b \tilde{T}^c = \tilde{f}_a{}^{bc} T_c - f_{ac}{}^b T^c. \quad (3)$$

При этом тождество Якоби для такой обобщенной алгебры

$$F_{[AB}{}^E F_{CD]E} = 0 \quad (4)$$

задает тождества Якоби для алгебр g и \tilde{g} и условия самосогласованности структуры биалгебры. В докладе будет представлен полученный набор 8-мерных Дублей Дринфельда и их классификация, основанная на использовании преобразований Янга-Бакстера дуальных алгебр.

Литература

1. Yuho Sakatani. *U-duality extension of Drinfel'd double*. - <https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.06320>
2. Sameer Kumar, Edvard T. Musaev. *On 10 dimensional Exceptional Drinfel'd Algebras*. - <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.11963>
3. С. Klimcik, P. Severa. *Dual Non-Abelian Duality and the Drinfeld Double* <https://doi.org/10.48550/arXiv.hep-th/9502122>
4. Г. М. Мубаракзянов. *О разрешимых алгебрах Лу* <https://www.mathnet.ru/rus/ivm2141>

НАГРЕВ МОЛЕКУЛЯРНОГО ОБЛАКА ПЕРВИЧНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРОЙ

А.Н. Мелихов¹, Е.В. Михеева²

¹ melikhov94@inbox.ru; Астрокосмический центр Физического института имени П.Н. Лебедева РАН

² Астрокосмический центр Физического института имени П.Н. Лебедева РАН

Рассмотрен процесс нагрева пыли фотонами от находящейся в молекулярном облаке ПЧД с массами $M = 10^{16} - 10^{20}$ г. В предположении, что пылинки равномерно распределены в сферически симметричном облаке и имеют размеры $a = 0.01, 0.02, 0.05$ и 0.1 мкм, была рассчитана температура пыли в зависимости от расстояния до ПЧД. Из полученных графиков следует, что непосредственно рядом с ПЧД пылинки нагреваются до температуры $T \lesssim 10^2$ К, а с увеличением расстояния температура резко падает. Таким образом, ПЧД может нагреть только сферический слой молекулярного облака, радиус r которого не более 10^3 см. Помимо этого в работе были построены спектры излучения нагреваемых ПЧД пылинок и показано, как вид спектров зависит от концентрации пыли в молекулярном облаке и от размеров пылинок. На полученные спектры были наложены графики чувствительности планируемой космической обсерватории «Миллиметрон» в режиме интерферометра и показано, что при наличии в облаке ПЧД имеется возможность ее зарегистрировать, если концентрация пыли в облаке лежит в диапазоне от $n_d = 10^{-4}$ см⁻³ до $n_d = 10^{-1}$ см⁻³ (при этом размер индивидуальных пылинок в облаке варьируется от 0.1 до 0.01 мкм, соответственно).

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В.П. Митрофанов¹

¹ vpmitrofanov@physics.msu.ru; Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

В 2015 году детекторы LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) впервые зарегистрировали гравитационные волны от столкновения и слияния двух черных дыр. К настоящему времени интерферометрические гравитационно-волновые детекторы более 200 раз зарегистрировали сигналы гравитационных волн, генерируемых при слиянии компактных объектов во Вселенной далеко от Земли. Ученые и инженеры из международных научных коллабораций LIGO, Virgo и KAGRA продолжают вести наблюдения и улучшать чувствительность гравитационно-волновых интерферометров. В докладе рассмотрены основные элементы интерферометрических детекторов гравитационных волн, источники шумов, ограничивающих чувствительность детекторов и пути совершенствования детекторов. В настоящее время разрабатываются лазерные интерферометрические детекторы гравитационных волн нового поколения, такие как криогенный детектор LIGO-Voyager [1], наземные и подземные детекторы с большой длиной интерферометрических плеч Cosmic Explorer [2] и Einstein Telescope [3], а также космический лазерный интерферометрический детектор LISA и другие. По чувствительности они будут значительно (в 10 раз) превосходить ныне действующие, значительно увеличат объем исследуемого пространства и расширят частотный спектр принимаемых сигналов [4]. Это позволит получить ответы на многие фундаментальные вопросы физики и астрономии.

Литература

1. R. Adhikari et al., A cryogenic silicon interferometer for gravitational-wave detection // *Class. Quantum Grav.* 37, 165003 (2020)
2. E. D. Hall, Cosmic Explorer: A Next-Generation Ground-Based Gravitational-Wave Observatory. *Galaxies*, 10, 90 (2022)
3. A. Grado, Einstein Telescope, the future generation of ground based gravitational-wave detectors, *J. Phys.:* Conf. Ser. 2429, 012041 (2023)
4. M. Bailes et al, Gravitational-wave physics and astronomy in the 2020s and 2030s, *Nature Reviews Physics*, 3, 344 (2021)

ПЕРСПЕКТИВЫ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО ПОИСКА КРотовых НОР В АСТРОФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Ю.А. Моисеев¹, О.С. Сажина²

¹ *lxyniti@gmail.com*; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва

² *cosmologia@yandex.ru*; Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Россия, Москва

В работе представлена перспективная стратегия поиска кротовых нор (КН) с использованием астрономических наблюдений. Определяя совокупный эффект дополнительного возмущающего ускорения компонента астрофизической системы,

можно сделать предположение о скрытой природе черной дыры (ЧД) как кандидата в КН. Мы получаем верхнюю оценку этого эффекта для нескольких звезд в известных системах, содержащих ЧД, таких как S2 и S62, которые вращаются вокруг Sgr A*, а также моделируем синтетическую систему, состоящую из проходимой КН, звезды с нашей стороны и возмущающего объекта с другой стороны относительно горловины проходимой КН. Мы также рассматриваем недавно открытые объекты из данных каталога Gaia: Gaia BH1, BH2 и BH3. Для всех типов систем показано, что в простой модели проходимой шварцшильдской КН возмущающий объект (звезда), находящийся по другую сторону от горловины КН, способен вызывать значимое возмущающее ускорение объекта (звезды) на стороне наблюдателя. Мы также демонстрируем, что для звезд в центре нашей Галактики этот эффект преобладает над основными конкурирующими эффектами, такими как возмущение от окружающих звезд и гало темной материи. Величина возмущающего ускорения, оцененная для реальных объектов, варьируется от 10^{-4} до 10^{-2} см/с² (для типичных расстояний порядка 500 пк), что в будущем при увеличении точности наблюдений позволит выявить искомый эффект. Мы приводим точность определения ускорения звезды в перицентре орбиты двойной системы в астрометрическом проекте Gaia, пересчитанную как функция ошибок наблюдения параметров двойной системы (масс каждой компоненты, эксцентриситета орбиты, периода) по состоянию на 2024 г. Полученная оценка точности уже сопоставима с предсказываемой моделью расчетной величиной искомого эффекта. В рассмотренных синтетических системах при оптимальном подборе параметров возмущающее ускорение достигает 1.5 см/с², что делает этот эффект существенно значимым для поиска КН в нашей Галактике.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МЕТРИКА В СИСТЕМЕ БОЛЬШОГО ЧИСЛА ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ И ПОГЛОТИТЕЛЕЙ

А.Б. Молчанов¹

¹ alexeybm2009@gmail.com; Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

В предыдущих работах в рамках метареляционного подхода к описанию пространства-времени и физических взаимодействий [1] была найдена возможность определить шкалы сопутствующих и собственных расстояний в космологии [2] [3]. Это достигалось при рассмотрении системы большого числа излучателей и поглотителей, имеющих спектры атомов водорода на основе статистического учёта всех возможных парных электромагнитных взаимодействий между ними.

При решении этой задачи можно посчитать количество конфигураций всех состояний частиц, реализующих между выбранной их парой расстояние r (заданный малый интервал от r до $r + \delta r$). Подсчёт всех конфигураций, реализующих разные значения r , приводит к равномерному распределению. Это соответствует шкале сопутствующих расстояний. Если считать конфигурации для выбранной тройки частиц, реализующие разные r и фиксированное Δr между парой из них, то распре-

деление получается неравномерным. Если определить масштабный отрезок так:

$$\Delta r_* = \frac{1}{N_0} \Delta r n(r), \quad (1)$$

где $n(r)$ – функция распределения числа конфигураций по значениям r , а N_0 – константа нормировки, то расстояние по полученной шкале

$$r_* \rightarrow \frac{1}{N_0} \int_0^r n(r) dr, \quad \frac{\Delta r}{r} \rightarrow 0 \quad (2)$$

будет соответствовать собственному, в согласии с определением из классической космологии.

Такую интерпретацию можно обобщить. Рассмотрим одномерный аналог формулы квадрата интервала в геометрическом подходе

$$ds = g(x) dx. \quad (3)$$

Здесь задана система координат с осью X и метрика $g(x)$. Пусть A – некоторая точка с координатой a на этой оси. Величина

$$\int_0^a dx \equiv a \quad (4)$$

есть расстояние между вещественными числами 0 и a на числовой прямой. Ему ставится в соответствие расстояние вдоль оси X между началом отсчёта, и точкой A в физическом пространстве. Расстояние, определённое таким образом, следует считать собственными для наблюдателя, помещённого в начало отсчёта. Если же наблюдатель окажется удалённым от обеих этих точек, то расстояние (4) не будет иметь для него физического смысла, поскольку значение $g(x)$ в точке, где находится наблюдатель, может отличаться и от $g(0)$, и от $g(a)$. Величиной, имеющей смысл расстояния между этими точками в физическом пространстве, будет

$$s = \int_0^a g(x) dx. \quad (5)$$

Его следует считать сопутствующим для точки A и начала отсчёта.

При сопоставлении формул (2) и (5) можно прийти к выводу, что в метареляционном подходе метрика $g(x)$ должна быть определена, как обратная функция к $n(s)$ с учётом нормировки.

Литература

1. *Владимиров Ю.С.* Реляционная картина мира. Кн. 2: От бинарной предгеометрии микромира к геометрии и физике макромира / Ю.С. Владимиров. -М.: ЛЕНАНД, 2021.-304 с.
2. *Молчанов А.Б.* Процедура декомпактификации расстояний // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия, № 2, 2023, pp. 36–46.
3. *Molchanov A.B.* Cosmological scale factor in the relational approach // Metaphysics, № 2(48), 2023, pp. 38–48.

СЕМЕЙСТВА КВАНТОВЫХ ТЕОРИЙ ПОЛЯ В КОНТЕКСТЕ М-ТЕОРИИ

Э.Т. Мусаев¹¹ musaev.et@phystech.edu; Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

Одним из важнейших вопросов в исследовании квантовой теории поля является структура ее фиксированных точек (как УФ, так и ИК). В частности, принадлежат ли они семейству фиксированных поверхностей или представляют собой обособленную точку в пространстве модулей теории, а также о структуре ренормгрупповых потоков, соединяющих фиксированные точки. Поток ренормгруппы из УФ точки может быть иницирован деформацией теории добавлением (ир)релевантного оператора или же спонтанно, за счет ненулевого вакуумного среднего некоторого оператора [1–3]. Примером иррелевантного оператора такого типа является ϕ^4 в теории действительного скалярного поля в размерности 4, которая является свободной в ИК. Примером теории с множеством фиксированных точек размерности не нуль является $\mathcal{N} = 1 D = 4$ теория Ли–Страсслера [4], представляющая собой точно маргинальную деформацию $\mathcal{N} = 4 D = 4$ теории супер-Янга–Миллса.

Тогда как квантовополевые вычисления часто доступны ли в пертурбативном разложении по петлевым поправкам, анализ решений уравнений супергравитации, голографически им дуальных, дает полную непертурбативную картину (для слабого соответствия — в пределе больших N). Так известно, что дуальной теории Ли–Страсслера является решение Лунина–Малдасены, представляющее собой бивекторную янг–бакстерову деформацию решения $AdS_5 \times S^5$ вдоль двух коммутирующих изометрий на сфере. В работе [5] нами найдено семейство решений уравнений IIB супергравитации, являющихся три-векторными деформациями решения $AdS_5 \times S^5$ вдоль изометрий пространства анти-де-Ситтера. Такие деформации удовлетворяют обобщенному уравнению Янга–Бакстера и предположительно генерируют некоторый новый класс некоммутативных калибровочных теорий.

Литература

1. M. J. Strassler, “On renormalization group flows and exactly marginal operators in three-dimensions,” <http://arxiv.org/abs/hep-th/9810223> arXiv:hep-th/9810223.
2. J. de Boer, E. P. Verlinde, and H. L. Verlinde, “On the holographic renormalization group,” <http://dx.doi.org/10.1088/1126-6708/2000/08/003> *JHEP* **08** (2000) 003, <http://arxiv.org/abs/hep-th/9912012> arXiv:hep-th/9912012.
3. K. Skenderis, “Lecture notes on holographic renormalization,” <http://dx.doi.org/10.1088/0264-9381/19/22/306> *Class. Quant. Grav.* **19** (2002) 5849–5876, <http://arxiv.org/abs/hep-th/0209067> arXiv:hep-th/0209067.
4. R. G. Leigh and M. J. Strassler, “Exactly marginal operators and duality in four-dimensional $N=1$ supersymmetric gauge theory,” [http://dx.doi.org/10.1016/0550-3213\(95\)00261-P](http://dx.doi.org/10.1016/0550-3213(95)00261-P) *Nucl. Phys. B* **447** (1995) 95–136, <http://arxiv.org/abs/hep-th/9503121> arXiv:hep-th/9503121.
5. K. Gubarev, E. T. Musaev, and T. Petrov, “Polyvector deformations of Type IIB backgrounds,” <http://dx.doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13402-4> *Eur. Phys. J. C* **84** no. 10, (2024) 1085, <http://arxiv.org/abs/2408.05004> arXiv:2408.05004 [hep-th].

ПРОЦЕСС ИЗОТРОПИЗАЦИИ ВСЕЛЕННОЙ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В ТЕОРИИ ХОРНДЕНСКИ С $G_3(X, \phi)$ И $G_5(X)$

Р.К. Мухарлямов¹, Шехабальдин Омер Али Башир²

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

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

Мы изучаем процесс изотропизации пространства-времени Бианки I в рамках теории Хорнденски с $G_3(X, \phi) \neq 0$ и $G_5 = const/X$ [5]. Глобальное однонаправленное электромагнитное поле взаимодействует со скалярным по закону $f^2(\phi)F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$. В теории Хорнденски анизотропия может развиваться по разному. Предложенный метод реконструкции позволяет строить модели с приемлемым поведением анизотропии [2, 4, 4, 6]. Для анализа анизотропии пространства-времени используются отношения a_i/a , где a_i – метрические функции, $a \equiv (a_1 a_2 a_3)^{1/3}$ – среднегеометрический масштабный фактор.

Литература

1. Muharlyamov, R. K. Isotropization of the magnetic universe in Horndeski theory with $G_3(X, \phi)$ and $G_5(X)$ / R. K. Muharlyamov, T. N. Pankratyeva, S. O. A. Bashir // Chinese Physics C – 2024. – Vol. 48, No. 11 – DOI 10.1088/1674-1137/ad65de
2. 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
3. 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
4. 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
5. Muharlyamov, R. K. Magnetic Bianchi-I cosmology in the Horndeski theory / R. K. Muharlyamov, T. N. Pankratyeva, S. O. A. Bashir // Mod. Phys. Lett. A – 2024. – Vol. 39, No. 17n18 – P. 2450085. – DOI 10.1142/S0217732324500858

ТОЧНЫЕ КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ С МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ С НЕМИНИМАЛЬНОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ

Р.К. Мухарлямов¹, Шехабальдин Омер Али Башир²

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

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

Мы исследуем анизотропные и однородные космологические модели в теории гравитации с неминимальной кинетической связью скалярного поля с кривизной, заданной функцией $\eta \cdot (\phi/2) \cdot G_{\mu\nu} \nabla^\mu \nabla^\nu \phi$. Такая неминимальная связь ранее изучалась без магнитного поля, например, в работах [1–4]. Теперь мы предполагаем, что пространство-время заполнено глобальным однонаправленным электромагнитным полем [5, 6], минимально взаимодействующим со скалярным полем.

Теория Хорндески допускает рост анизотропии со временем. Возникает вопрос об изотропизации. В рассматриваемой теории нулевой скалярный заряд накладывает условие на уровень анизотропии, а именно, его динамика развивается в ограниченной области. Это условие однозначно определяет жизнеспособную ветвь решений уравнений поля. Плотность магнитной энергии, соответствующая этой ветви, является ограниченной функцией времени.

Знак параметра $l = 1 + 8\pi\epsilon\eta\Lambda$ определяет свойства космологических моделей, где Λ – космологическая постоянная; знак $\epsilon = \pm 1$ определяет каноническое скалярное поле и фантомное поле, соответственно. Неравенство $\epsilon/\eta > 0$ является необходимым условием изотропизации моделей, но не достаточным. Рассмотрены три случая: $l = 0$, изотропизация не происходит; $l > 0$, изотропизация есть; $l < 0$, имеются две ветви, одна из которых обладает свойством изотропизации, а другая описывает Вселенную с коллапсом. Модель с $l < 0$ имеет анизотропный отскок, и эволюция Вселенной начинается с ненулевого значения объема. Модели бесконечно расширяющейся Вселенной в конечном итоге переходят в режим инфляции с масштабным фактором $a(t) \propto e^{h_\eta t}$, $h_\eta = \sqrt{\frac{\epsilon}{3\eta}}$.

Литература

1. Sushkov, S.V. Exact cosmological solutions with nonminimal derivative coupling / S. V. Sushkov // Phys. Rev. D **80** (2009) 103505 – DOI 10.1103/PhysRevD.80.103505
2. Sushkov, S.V. Realistic cosmological scenario with nonminimal kinetic coupling / S.V. Sushkov // Phys. Rev. D **85** (2012) 123520 – DOI 10.1103/PhysRevD.85.123520
3. Sushkov, S. V. Cosmological models with arbitrary spatial curvature in the theory of gravity with non-minimal derivative coupling / S. V. Sushkov, R. Galeev // Phys. Rev. D **108** (2023) 044028 – DOI 10.1103/PhysRevD.108.044028
4. 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
5. Muharlyamov, R. K. Isotropization of the magnetic universe in Horndeski theory with $G_3(X, \phi)$ and $G_5(X)$ / R. K. Muharlyamov, T. N. Pankratyeva, S. O. A. Bashir // Chinese Physics C – 2024. – Vol. 48, No. 11 – DOI 10.1088/1674-1137/ad65de
6. Muharlyamov, R. K. Magnetic Bianchi-I cosmology in the Horndeski theory / R. K. Muharlyamov, T. N. Pankratyeva, S. O. A. Bashir // Mod. Phys. Lett. A – 2024. – Vol. 39, No. 17n18 – P. 2450085. – DOI 10.1142/S0217732324500858

СЛОМАННАЯ ЛЕСТНИЦА: ХАББЛОВСКИЙ КРИЗИС В ПОЗДНИХ МОДИФИКАЦИЯХ LCDM

Н.С. Неделько¹, А.С. Чудайкин, Д.С. Горбунов

¹ nikita.nedelko1999@yandex.ru; ИЯИ РАН

Одной из самых острых проблем в космологии в последние десять лет является расхождение в величине постоянной Хаббла H_0 , получаемой из разных наблюдательных данных. В частности, значение, полученное с помощью стандартной космологической модели, LCDM, по картам реликтового микроволнового излучения телескопа Planck, и значение, полученное методом "лестницы расстояний" сверхновых типа Ia с локальной калибровкой по цефеидам, расходятся более чем на четыре стандартных отклонения.

Для закрытия этого разрыва было предложено множество модификаций LCDM. В данном докладе рассматривается подкласс моделей, изменяющих позднюю эволюцию Вселенной с помощью переменного уравнения состояния темной энергии (модели с фантомным переходом), и показывается, что такие модели не могут решить проблему калибровки лестницы расстояний по сверхновым, лежащую в основе проблемы H_0 . Дополнительно обсуждаются некоторые альтернативные подходы, теоретические и наблюдательные, которые могут помочь пролить свет на причины "Хаббловского кризиса".

7-МЕРНАЯ КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ С ВРАЩЕНИЕМ В ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

В.Н. Павелкин¹, В.Ф. Панов²

¹ pnvin@yandex.ru; Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, Пермь, Россия

² panov@psu.ru; Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Астрофизики и космологи, которые считают, что темная энергия и темная материя существуют, стараются выяснить их природу. С очень большой вероятностью можно предполагать, что темная энергия – это вакуум. В этом случае космологическая константа, вакуумная энергия и темная энергия – понятия эквивалентные [1]. В планковскую эпоху плотность этого вида энергии имела значение [1], на 123 порядка превышающее плотность наблюдаемой темной энергии.

Р. Бергамини и Дж. Вентури [2] показывают, что большая положительная величина Λ -члена может быть скомпенсирована "эффективной космологической константой зависящей от скорости вращения в дополнительных измерениях в многомерной космологической модели. В соответствии с этой идеологией, предложенной в работах [2, 3], мы рассмотрели 7-мерную метрику с фридмановским плоским пространством в наблюдаемых координатах, а в дополнительных координатах – IX

тип по Бьянки, с идеальной жидкостью в качестве источника гравитации. Причем масштабный фактор в части метрики с наблюдаемыми координатами зависит от времени, что предполагает расширение обычной материи, остальные же метрические коэффициенты не зависят от времени, их величины должны быть достаточно малы, чтобы дополнительные координаты были компактифицированными.

$$ds^2 = (dt + A(-\sin x^6 dx^4 + \sin x^4 \cos x^6 dx^5))^2 - q^2((dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2) - A^2(-\sin x^6 dx^4 + \sin x^4 \cos x^6 dx^5)^2 - \hat{A}^2(\cos x^6 dx^4 + \sin x^4 \sin x^6 dx^5)^2 - C^2(\cos x^4 dx^5 + dx^6)^2, \quad (1)$$

$q=q(t)$, A , B , C – малые константы. IX тип по Бьянки предполагает вращение в дополнительных измерениях. Таким образом, можно ожидать, что в такой модели эффективная космологическая постоянная, зависящая от скорости вращения модели в дополнительных измерениях, за счет подбора значений метрических коэффициентов и материальных параметров модели обеспечит требуемую плотность темной энергии. Нами было получено космологическое решение уравнений Эйнштейна для вышеназванной 7-мерной метрики с идеальной жидкостью с вакуумным уравнением состояния. В силу того, что нельзя говорить о вращении вакуума, то данная модель не решает нашу задачу. В дальнейшем целесообразно для данной метрики рассмотреть кроме идеальной жидкости ряд других полевых источников тяготения.

Литература

1. Бурдюжа В.В. Темные компоненты Вселенной // УФН. 2010. Том 180, N.4. С. 439-444.
2. Bergamini R., Venturi G. The Effect of Higher Dimensions, on Relativistic Cosmology// Lettere al Nuovo Cimento. 1985. Vol. 43. N.7. P. 333-339.
3. Venturi G. Multidimensional Cosmology// Lettere al Nuovo Cimento. 1985. Vol. 44. N.1. P. 43-47.

ИНТЕГРИРУЕМОСТЬ УСЕЧЁННОЙ МИКСМАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ХОРАВЫ – ЛИФШИЦА В ФУНКЦИЯХ РОЗЕНХАЙНА

А.Е. Павлов¹

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

Миксмастерная модель Хоравы – Лифшица принадлежит к обобщённым евклидовым цепочкам Тоды. Три наиболее длинных вектора спектра играют доминирующую роль при изучении её динамики. Усечённая космологическая модель представляется как периодическая трёхчастичная цепочка Тоды. Она ассоциируется с аффинной алгеброй Ли Каца – Муди A_2^+ . Согласно критерию Адлера – ван Мёрбеке усечённая гамильтонова система алгебраически вполне интегрируема. Проблема Якоби об обращении ультраэллиптических интегралов решается с использованием тэта-функций двух переменных. Решения динамической задачи выражаются как рациональные функции от тэта-функций Розенхайна.

Литература

1. А. Е. Павлов. Гамильтонова Динамика Гравитационных Систем. М. ЛЕНАНД, 2023.
2. P. Hořava. Quantum gravity at a Lifshitz point. *Phys. Rev. D* **79** (2009) 084008.
3. A. E. Pavlov and S. M. Gaidar. Birkhoff integrability of truncated Hořava – Lifshitz mixmaster model near the cosmological singularity. *Grav. Cosmol.* **30** (2024) 189.
4. Д. Мамфорд. Лекции о Тэта-Функциях. М. Мир, 1988.

О ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ ЧАСТИЦ В ОКРЕСТНОСТИ ЧЕРНЫХ ДЫР

Ю.В. Павлов¹

¹ yuri.pavlov@mail.ru; Институт проблем машиноведения РАН, 199178, Санкт-Петербург, В.О., Большой пр., 61

Исследование столкновений частиц в окрестности вращающихся черных дыр показало [1]– [3], что можно говорить о существовании в природе естественного суперколлайдера с энергиями столкновений, значительно превышающими энергии современных ускорителей частиц. Возникновение кварк-глюонной плазмы в таких столкновениях может сопровождаться появлением очень высоких температур. Это ставит вопрос об параметрах столкновений для реализации температур фазовых переходов физики элементарных частиц [4]. Для вращающихся черных дыр температуры кварк-глюонного и электро-слабого фазовых переходов могут быть достигнуты при многократных столкновениях элементарных частиц вблизи горизонта событий. В случае экстремально вращающейся черной дыры такие температуры достижимы при резонансе Банадоса-Силка-Веста [1] и в однократных столкновениях частиц или макротел. Даны численные оценки параметра расстояния от горизонта, а также испускаемого при столкновении частиц гравитационного и электромагнитного излучений. Показано [5], что размеры областей новой фазы имеют порядок комптоновской длины волны для соответствующей энергии. Продолжительность существования образования новой фазы также по порядку величины соответствует комптоновскому времени соответствующего энергетического масштаба. Несмотря на кратковременное существование и микроскопические объемы новой фазы вещества при электро-слабом фазовом переходе при столкновениях в окрестности горизонта черной дыры, само ее существование имеет принципиальное значение. Оценивается обратное влияние возникающей плотности энергии при таких столкновениях на пространственно-временную метрику.

Литература

1. M. Bañados, J. Silk, S.M. West. Kerr black holes as particle accelerators to arbitrarily high energy. *Phys. Rev. Lett.* **103**, 111102 (2009).
2. A.A. Grib, Yu.V. Pavlov. On the collisions between particles in the vicinity of rotating black holes. *JETP Lett.* **92** 125–129 (2010).

3. A.A. Grib, Yu.V. Pavlov. On particle collisions in the gravitational field of the Kerr black hole. *Astropart. Phys.* **34**, 581–586 (2011).
4. A.A. Grib, Yu.V. Pavlov. On phase transitions near black holes. *JETP Lett.* **116** 493–499 (2022).
5. A.A. Grib, Yu.V. Pavlov. On phase transitions during collisions near the horizon of black holes. *Universe* **10**, 131 (2024).

ПОЛИВЕКТОРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ РЕШЕНИЙ ПВ СУПЕРГРАВИТАЦИИ

Т.А. Петров¹, Э.Т. Мусаев², К.А. Губарев³

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

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

³ gubarev.ka@phystech.su; Московский физико-технический институт

Исследование теорий, связанных с экспериментальной физикой, таких как суперсимметричные калибровочные теории (SUSY QFT), представляет большой интерес для современной науки. Наиболее широкий потенциал для новых исследований и открытий среди них выражен теорией струн. Её формализм позволяет реализовать AdS/CFT соответствие, связывающее результаты расчётов в гравитационных и калибровочных теориях. Это открывает новые методы для изучения калибровочных теорий, включая метод Янг–Бакстеровой деформации. Он основан на голографическом отображении преобразований, задающих семейства решений уравнений супергравитации, в пространство калибровочных теорий. Это позволяет исследовать пространство калибровочных теорий поля, например определяя в нём новые конформные многообразия [5]. Преобразование, лежащее в основе данного метода, называемое деформацией Янга–Бакстера, возникает из скрытых симметрий пространства решений супергравитации.

Формализм, позволяющий строить такие преобразования, был разработан для 10–мерной супергравитации [1], и выстраиваемая на его основе деформация задаётся бивекторным параметром. Его допустимые значения определяются известным классическим уравнением Янга–Бакстера. Свойства голографического отображения приводят к тому, что в пространстве калибровочных теорий данная деформация порождает новые конформные многообразия только в случае, если бивекторный параметр выбирается вдоль компактных изометрий исходного решения уравнений супергравитации. Однако при этом классическое уравнение Янга–Бакстера имеет нетривиальные решения только при абелевых компактных изометриях [4]. Это сильно ограничивает получаемые в рамках данного метода результаты для конформных теорий поля.

Тем не менее, наличие расширенных скрытых симметрий в пространстве решений 11–мерной супергравитации [3] позволило обобщить для неё формализм Янг–Бакстеровых деформаций. Это обобщение задается с помощью тривекторного параметра [2]. Аналогично бивекторному случаю, на него накладывается дополнительное условие — обобщенное классическое уравнение Янга–Бакстера, обобщающее классическое уравнение Янга–Бакстера на 3–векторный случай.

Более того, данное обобщение разрешает использовать неабелевы компактные симметрии [6]. Несмотря на сложности реализации голографической дуальности в 11-мерной супергравитации, успех в обобщении гравитационной части формализма и наличие той же расширенной скрытой симметрии у ПВ супергравитации позволили авторам добиться аналогичного обобщения в случае ПВ, на основе 4-векторных деформаций. На 4-векторные параметры было найдено условие, представляющее собой обобщение классического уравнения Янга-Бакстера на 4-векторный случай. На основе полученной деформации был найден пример неабелевой 4-векторной деформации, решающей уравнения ПВ супергравитации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №20-72-10144.

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.
6. E. T. Musaev and T. Petrov, “Tri-vector deformations on compact isometries,” *Eur. Phys. J. C* 83 no. 5, (2023) 399

ПУЛЬСАРНЫЕ СЕТИ НА ПОРОГЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВОГО ФОНА

Н.К. Порайко¹

¹ nporayko@mpifr-bonn.mpg.de; University of Milano Bicocca, MPIfR

Главной задачей проекта пульсарной сети является регулярный мониторинг нескольких десятков миллисекундных пульсаров в радио диапазоне с целью детектирования динамических возмущений метрики пространства-времени, вызванные, например, прохождением гравитационных волн. На сегодняшний день пульсарные сети являются единственным способом обнаружения гравитационно-волнового излучения в наногерцовом диапазоне частот. В докладе будет рассмотрен нынешний статус пульсарных сетей, а также цели, которые стоят перед проектом в будущем. Особое внимание будет уделено возможной природе сигнала, полученного в последних данных бти международных коллабораций. Будет дана как традиционная астрофизическая интерпретация, так и рассмотрены более нестандартные сценарии.

ИЗМЕРЕНИЕ «REDSHIFT» ЭФФЕКТА С КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ «РАДИОАСТРОН»

В.Н. Руденко¹, А.В. Белоненко², А.В. Гусев³, С.М. Попов⁴

¹ *rvn@sai.msu.ru*; Государственный Астрономический Институт им. Штернберга П.К., МГУ им. Ломоносова М.В.; Государственный Астрономический Институт им. Штернберга П.К., МГУ им. Ломоносова М.В.

² *av.belonenko@physics.msu.ru*; Государственный Астрономический Институт им. Штернберга П.К., МГУ им. Ломоносова М.В.; Государственный Астрономический Институт им. Штернберга П.К., МГУ им. Ломоносова М.В.

³ *mta-kuskovo@mail.ru*; Государственный Астрономический Институт им. Штернберга П.К., МГУ им. Ломоносова М.В.; Государственный Астрономический Институт им. Штернберга П.К., МГУ им. Ломоносова М.В.

⁴ *serg@sai.msu.ru*; Государственный Астрономический Институт им. Штернберга П.К., МГУ им. Ломоносова М.В.; Государственный Астрономический Институт им. Штернберга П.К., МГУ им. Ломоносова М.В.

Коммуникационные радиосигналы между орбитальным космическим аппаратом (КА) и наземной станцией слежения (НСС) испытывают смещение частоты пропорционально позиционной разности их гравитационных потенциалов. Эффект составляет экспериментальную базу общей теории относительности (ОТО) как один из аспектов принципа эквивалентности Эйнштейна (ПЭЭ). Представлены результаты прецизионного измерения эффекта с помощью стандартов частоты, размещенных на КА и НСС. Использовались данные специальных «гравитационных сеансов» радиосвязи, накопленные во время миссии космического радиотелескопа «Радио-Астрон» в период 2015-2019 годов. Скрупулезный анализ этих данных позволяет утверждать соответствие теории и эксперимента с высокой точностью: параметр нарушения (отклонение от ОТО) составил $1.57 \pm 3.96 \times 10^{25}$.

СЕКУЛЯРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОСТРАНСТВЕ ДЕ СИТТЕРА

Д.И. Садеков¹

¹ *damirajsin@yandex.ru*; Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет)

Мы рассмотрим эффект петлевых поправок для легких полей с ненулевой массой в расширяющемся регионе Пуанкаре пространства де Ситтера. Будет показано, как выводится уравнение Дайсона-Швингера, которое суммирует ведущие инфракрасные (растущие со временем) секулярные петлевые поправки в определенном пределе для малых начальных возмущений над состоянием Банча-Дэвиса. Решение этого уравнения определяет эволюцию начального состояния при стремлении времени к бесконечности. Затем мы обсуждаем случай сжимающегося участка Пуанкаре и глобального пространства-времени де Ситтера, а также кратко обсудим случай различных типов начальных условий в расширяющемся участке Пуанкаре.

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ СОВРЕМЕННОГО ПОИСКА КОСМИЧЕСКИХ СТРУН

О.С. Сажина¹

¹ *cosmologia@yandex.ru*; Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Россия, Москва

В современной астрофизике и космологии большую роль начинает играть поиск нетривиальных структур, которые приобретают статус классических из-за их значимости для согласования теории и наблюдений. К таким объектам относятся черные дыры (ЧД), первичные ЧД (сверхмассивные и промежуточных масс), которые объясняют формирование звезд и галактик в ранней Вселенной, согласовывая данные «Хаббл» и «Джеймс Уэбб» со Стандартной космологической моделью, кротовые норы, космологические топологические дефекты, которые, согласно общепринятым представлениям, возникают при вакуумных фазовых переходах, а также более экзотические структуры, являющиеся результатом эволюции многомерных пространств доинфляционной Вселенной. Стандартная космологическая модель не решает проблему феномена темной энергии: остро стоит вопрос о согласовании значений современного параметра Хаббла на основе данных из ближней и ранней Вселенной (напряженность Хаббла). Очевидно, эта проблема тесно связана с пробелами в понимании природы темной энергии, а фазовые переходы ранней Вселенной напрямую связаны со свойствами темной энергии. Дефекты в виде космических струн (КС) — одномерных объектов космологических масштабов — неизменно присутствуют в теоретических моделях ранней Вселенной в течение последних 50 лет и не противоречат всем современным наблюдениям. Более того, подтверждаются рядом косвенных наблюдений: (1) наличием компоненты стохастического гравитационно-волнового фона с сигнатурой, нехарактерной для слияния двойных объектов и не имеющей удовлетворительной интерпретации в рамках известных астрофизических процессов; (2) КС обеспечивают удовлетворительное описание аномалий в спектре мощности реликтового излучения на больших угловых масштабах; (3) КС были обнаружены в данных анизотропии реликтового излучения, один из кандидатов в КС (CSc-1) был подтвержден независимым оптическим методом по избытку гравитационно-линзовых пар. Важно отметить, что более общая теория гравитационного линзирования на КС, а именно, учет ее наклона и изгиба, позволяет принципиально изменять стратегию поиска этих объектов, в том числе, возможно, пересмотреть ограничения на энергию КС, а также пересмотреть стратегию поиска цепочек гравитационно-линзовых пар. Учет изгиба КС позволяет объяснить отсутствие таких цепочек из-за появления т.н. критического угла изгиба, при котором гравитационно-линзовые пары не образуются. Наблюдательная идентификация принципиально новых объектов стала возможной благодаря новой теории и улучшенному качеству наблюдений и критически важна для понимания геометрии Вселенной.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАНДИДАТА В КАРЛИКОВЫЕ НОВЫЕ OGLE-BLG-DN-0064 В РЕНТГЕНОВСКОМ И ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНАХ

А.Б. Сибгатуллин¹

¹ absibgatullin@kpfu.ru; Казанский (Приволжский) федеральный университет

Источник OGLE-BLG-DN-0064 (далее OGLE64) был классифицирован как потенциальный кандидат в карликовые новые на основе регулярной вспышечной активности, обнаруженной оптическим обзором OGLE. В работе исследуется рентгеновское и оптическое излучение источника OGLE64 на основе архивных данных рентгеновских обсерваторий Chandra, Swift и оптических наблюдений на 6-м телескопе БТА САО РАН. Источник OGLE64 демонстрирует рентгеновскую светимость $L_X \approx 1.6 \times 10^{32}$ эрг/с и высокое отношение рентгеновского потока к оптическому $F_X/F_{opt} \approx 1.5$, характерные для аккрецирующих белых карликов. Рентгеновский спектр OGLE64 аппроксимируется моделями степенного закона с фотонным индексом $\Gamma \approx 1.9$ и оптически тонкой плазмы с температурой $kT \approx 6.4$ кэВ. Оптический спектр демонстрирует эмиссионные линии водорода и нейтрального гелия, в некоторых из которых наблюдается двухпиковая структура. Анализ вспышечной активности OGLE64 по данным оптических обзоров OGLE, ZTF, ATLAS и ASAS-SN выявил наличие сверхвспышек с характерным сверхциклом $P_{super} \approx 400$ суток. Значимой переменности ни в рентгеновской, ни в оптических кривых блеска OGLE64, которая могла бы быть связана с затмениями в системе, не обнаружена. Оценки орбитального периода системы косвенными методами демонстрируют, что период, вероятно, находится в диапазоне $P_{orb} \sim 1.5 - 3.5$ часа. Свойства рентгеновского и оптического излучения источника OGLE64 позволяют заключить, что система является карликовой новой типа SU UMa.

ОБ ИНВАРИАНТНОМ ИНТЕГРИРОВАНИИ НА ПСЕВДОФИНСЛЕРОВЫХ МНОГООБРАЗИЯХ

А.В. Соловьев¹

¹ a.v.solovyov@gmail.com; Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Среди неримановых модификаций общей теории относительности все чаще встречаются релятивистские модели гравитации, основанные на финслеровой геометрии [1]. Наиболее реалистичные из них используют псевдофинслеровы многообразия в качестве пространственно-временного фона. Однако в финслеровой геометрии с индефинитной метрикой отсутствует общепринятое определение естественного (выражаемого через метрику) элемента объема. В [2] были предложены определения естественных форм объема на ориентированных псевдофинслеровых многообразиях с так называемыми “*m*th root” метриками. Доклад основан на этой работе автора.

Рассматривается n -мерное ориентированное псевдофинслерово многообразие

M с индефинитной метрикой

$$ds^m = g_{i_1 i_2 \dots i_m}(x) dx^{i_1} dx^{i_2} \dots dx^{i_m},$$

где $m > 1$, а $g_{i_1 i_2 \dots i_m}(x)$ — функции точки $x \in M$ (здесь и далее все индексы пробегуют значения $1, 2, \dots, n$). Показано, что при четном $m > 0$ естественная форма объема на M имеет вид

$$\omega = \left| \text{hdet}[g_{i_1 i_2 \dots i_m}(x)] \right|^{1/m} dx^1 \wedge \dots \wedge dx^n,$$

где

$$\text{hdet}[g_{i_1 i_2 \dots i_m}(x)] = \varepsilon^{j_1^2 j_2^2 \dots j_n^2} \dots \varepsilon^{j_1^m j_2^m \dots j_n^m} g_{1 j_1^2 \dots j_1^m}(x) g_{2 j_2^2 \dots j_2^m}(x) \dots g_{n j_n^2 \dots j_n^m}(x)$$

— гипердетерминант А. Кэли, а $\varepsilon^{j_1 j_2 \dots j_n}$ — n -мерный символ Леви-Чивиты. При нечетном $m > 1$ и четном $n > 0$ естественная форма объема на M имеет вид

$$\omega = \left| \text{hdet}[G_{i_1 i_2 \dots i_n}(x)] \right|^{1/(mn)} dx^1 \wedge \dots \wedge dx^n,$$

где

$$G_{i_1 i_2 \dots i_n}(x) = \varepsilon^{j_1^2 j_2^2 \dots j_n^2} \dots \varepsilon^{j_1^m j_2^m \dots j_n^m} g_{i_1 j_1^2 \dots j_1^m}(x) g_{i_2 j_2^2 \dots j_2^m}(x) \dots g_{i_n j_n^2 \dots j_n^m}(x).$$

Таким образом, появляется возможность определения инвариантного интеграла $\int \omega$, что необходимо при построении теории любых полей на M .

Литература

1. C. Lämmerzahl and V. Perlick. Finsler geometry as a model for relativistic gravity. *Int. J. Geom. Meth. Mod. Phys.*, **15**, 1850166 (2018).
2. A.V. Solov'yov. Natural volume forms on pseudo-Finslerian manifolds with m th root metrics. *Russ. J. Math. Phys.*, **31**, 317–324 (2024).

ПОЛЯ ВНЕ МАССОВОЙ ОБОЛОЧКИ И СОХРАНЯЮЩИЕСЯ ТОКИ

Е.О. Спирин¹

¹ spirin.eo@phystech.edu; МФТИ, г.Москва

Отправной точкой в данном исследовании [1] послужили результаты работы [2]. В цитируемой статье [2] было показано, что в теории высших спинов существует калибровочно инвариантная вершина вида:

$$S = \int d^d x \varphi_{\mu\nu\lambda} T^{\mu\nu\lambda}[\phi], \quad (1)$$

где $\varphi_{\mu\nu\lambda}$ — это безмассовое поле спина 3, описываемое действием Фронсдала [3], а $T^{\mu\nu\lambda}[\phi]$ — это трilinearная комбинация скалярных полей вне массовой оболочки и их производных. Целью нашей работы было выяснить, существуют ли еще вершины подобного вида и описать их. Для этого была применена широко развитая в

теории высших спинов техника сигма-минус кохомологий. Данная техника позволяет выделять в исследуемой теории динамический сектор, а именно динамические поля и уравнения, которым они удовлетворяют. Следствием калибровочной инвариантности вершин вида (1) является наличие уравнений в виде закона сохранения для мультилинейной комбинации скалярных полей. По этой причине было предложено найти динамический сектор в теории трилинейных комбинаций скалярных полей вне массовой оболочки, что оказалось возможным благодаря результатам работ [4], [5].

В результате в работе [1] с помощью техники сигма-минус кохомологий было доказано, что нетривиальных вершин представленного вида не существует, по крайней мере в размерности $d = 3$. Также было замечено, что существует бесконечно много тривиальных вершин, в том смысле, что они либо убираются локальным переопределением полей, либо же описывают взаимодействие с калибровочно инвариантными напряженностями полей. Нужно отметить, что в нашей работе доказано более общее утверждение, чем тривиальность вершин, а именно доказано, что примарные компоненты мультилинейных комбинаций скалярных полей вне массовой оболочки не могут удовлетворять нетривиальным уравнениям в частных производных, по крайней мере, в размерности $d = 3$.

Литература

1. E. O. Spirin and M. A. Vasiliev, Phys. Lett. B **852** (2024), 138625 doi:10.1016/j.physletb.2024.138625 [arXiv:2401.06933 [hep-th]].
2. P. M. Lavrov, Eur. Phys. J. C **82** (2022) no.11, 1059 [arXiv:2208.05700 [hep-th]].
3. C. Fronsdal, Phys. Rev. D **18** (1978), 3624.
4. O. A. Gelfond and M. A. Vasiliev, Theor. Math. Phys. **145** (2005), 1400-1424 [arXiv:hep-th/0304020 [hep-th]].
5. O. A. Gelfond and M. A. Vasiliev, JHEP **10** (2016), 067 [arXiv:1312.6673 [hep-th]].

ПОВЕРХНОСТИ ПОСЛЕДНЕГО РАССЕЯНИЯ И ЧЕРНОТЕЛЬНОЙ ФОТОСФЕРЫ ВСЕЛЕННОЙ. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ: ПРЕДСКАЗАНИЯ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Р.А. Сюняев¹

¹ ИКИ РАН, Институт Астрофизики Общества Макса Планка

Обзорный доклад посвящен основным механизмам взаимодействия вещества и излучения в ранней Вселенной, новым программам наблюдений, конкуренции и синергетике наблюдений горячего газа скоплений галактик в рентгене и микроволновом диапазоне.

РАССЕЯНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ НА УДАРНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ВОЛНЕ

В.А. Тайнов¹

¹ *tainov@theor.jinr.ru*; Лаборатория теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова, Объединенный институт ядерных исследований, Государственный университет «Дубна»

Понятие ударных волн в веществе тесно связано с движением со скоростью, превышающей скорость звука в этом веществе. В гравитационной физике это понятие относится к объектам, движущимся со скоростью света. Гравитационное поле таких объектов имеет характер плоской ударной гравитационной волны — геометрии пространства-времени, в которой тензор кривизны меняется скачкообразно на фронте ударной волны. Источниками таких волн могут быть безмассовые частицы, безмассовые космические струны, доменные стенки и другие объекты, лишенные массы.

Ударные волны в полевых системах интересны с точки зрения порождаемых физических эффектов. Подход к описанию классических полей целого спина в присутствии ударной гравитационной волны был развит в работах [1-4].

В докладе на примере скалярно-полевой теории в линейном приближении моделируется взаимодействие плоской монохроматической волны с плоской ударной гравитационной волной, порождаемой безмассовой частицей и доменной стенкой. С технической точки зрения решается характеристическая задача Коши с линейризованными начальными данными на фронте ударной гравитационной волны. Новые физические эффекты включают, в частности, возникновение вторичной ударной волны в самой полевой системе и появление возмущений скалярного поля за фронтом ударной волны. Обсуждаются особенности поведения возмущений за фронтом ударной волны.

Литература

1. D.V. Fursaev, E.A. Davydov, I.G. Pirozhenko and V.A. Tainov. “Perturbations of classical fields by gravitational shockwaves” JHEP 11 (2024), 039, arXiv: 2408.05142.
2. D.V. Fursaev, E.A. Davydov, I.G. Pirozhenko and V.A. Tainov. “Gravitational waves generated by null cosmic strings”. Phys.Rev.D 109.12 (2024), 125009, arXiv:2311.01863.
3. D. V. Fursaev and I. G. Pirozhenko. “Electromagnetic waves generated by null cosmic strings passing pulsars”. Phys.Rev.D 109.2 (2024), 025012, arXiv: 2309.01272.
4. D. V. Fursaev and I. G. Pirozhenko. “Electrodynamics under the action of null cosmic strings”. Phys.Rev.D 107.2 (2023), 025018, arXiv: 2212.05564.

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОЗДНЕЙ ВСЕЛЕННОЙ НА ОСНОВЕ НОВОЙ ОБОБЩЕННОЙ ЭНТРОПИИ

А.В. Тимошкин¹

¹ *alex.timosh@rambler.ru*; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

Изучаются космологические модели поздней Вселенной, содержащие две связанные жидкости: темную энергию и темную материю. Рассматривается пространственно плоская вселенная Фрийдмана–Робертсона–Уокера. Взаимодействие между темной энергией и жидкостными компонентами темной материи описывается через параметры обобщенного уравнения состояния в присутствии объемной вязкости. Мы рассматриваем энтропийную космологию и используем описание, основанное на новой обобщенной функции энтропии, предложенной Ноджири-Одинцовым-Фараони [От неэкстенсивной статистики и энтропии черных дыр к голографической темной Вселенной, *Phys. Rev. D* 105(4) (2022) 044042]. Получены условия возникновения Малого Разрыва и Мнимого Разрыва с точки зрения параметров обобщенного уравнения состояния. Вводя плотность энергии, соответствующую заданной функции энтропии вместе с функцией, описывающей взаимодействие темной энергии с темной материей в гравитационных уравнениях движения, мы получаем модифицированные формы параметров уравнения состояния. Обсуждаются поправки к термодинамическим параметрам, связанные с обобщенной функцией энтропии.

НОВЫЙ ВАКУУМ В ГОЛОМОРФНОЙ ТЕОРИИ ВЫСШИХ СПИНОВ В AdS_4

И.С. Фаляхов¹

¹ faliakhov.is@phystech.edu; МФТИ, ФИАН

Уравнения высших спинов стандартно пишутся в терминах производящих функций:

$$d_x \omega + \omega * \omega = \Upsilon(\omega, \omega, C) + \Upsilon(\omega, \omega, C, C) + \dots \quad (1)$$

$$d_x C + \omega * C - C * \pi(\omega) = \Upsilon(\omega, C, C) + \Upsilon(\omega, C, C, C) + \dots \quad (2)$$

Поле ω содержит в себе калибровочные поля спина $s \geq 1$, поле C содержит кривизны вместе со скалярным полем. Функции Υ в правой части называют вертексами. На линейном уровне по C эта система дает свободные уравнения полей. Соответственно, полная система описывает поля высших спинов со взаимодействиями. Подробности можно посмотреть в обзоре [1]. До недавнего времени явный вид вертексов, удовлетворяющих условию локальности, не был известен. На сегодняшний день имеется производящая система типа уравнений Васильева, из которой вертексы восстанавливаются по порядкам C [2]. Стандартным вакуумом называют следующее решение

$$\omega = \omega_{AdS}, \quad C = 0. \quad (3)$$

Это случай пустого пространства AdS , то есть пространства с ненулевой космологической постоянной. Ранее считалось, что в вакуумном состоянии C не может быть ненулевым, поскольку это повлекло бы за собой разрушение антидеситтеровского вакуума (так называемый back-reaction). В работе показано, что существует точное решение системы с ненулевым C , не разрушающее вакуум ω_{AdS} в размерности $3+1$. Найденное решение представляет собой двухпараметрическое семейство

$$W = \omega_{AdS} + \nu_2 \omega, \quad (4)$$

$$C = v_1 C_1 + v_2 C_2, \quad (5)$$

$$C_1 = r e^p, C_2 = -r(1+p)e^p, p = y\bar{y}. \quad (6)$$

Первая ветвь явно сохраняет ω_{AdS} , в то время как из второй ветви приходит поправка w . Обе ветви решений описывают скалярное возмущение, причем оно имеет радиальное направление в AdS . Смысл поправки w до конца не ясен, однако есть основания считать её артефактом неявной Лоренц-ковариантности уравнений. Найденный вакуум нарушает глобальную симметрию высших спинов, обладая остаточной симметрией относительно трёхмерной группы Пуанкаре. Соответственно, он является кандидатом на описание спонтанно нарушенной фазы в трех измерениях, в которой должен возникнуть спектр массивных состояний.

Литература

1. Didenko, V. E. Elements of Vasiliev theory / V. E. Didenko, E. D. Skvortsov. – 2014. – 1.
2. Didenko, V. E. On holomorphic sector of higher-spin theory / V. E. Didenko // JHEP. – 2022. – Vol. 10. – P. 191.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОСМОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ТЕОРИИ ХОРНДЕСКИ

Р.Р. Фатыхов¹, С.В. Сушков²

¹ fr1802@yandex.ru; Казанский федеральный университет, Казань

² sergey_sushkov@mail.ru; Казанский федеральный университет, Казань

В данной работе исследуется динамика однородных изотропных космологических моделей с пространственно плоской метрикой в теориях гравитации со скалярным полем, неминимально связанным с кривизной. Неминимальная связь характеризуется присутствием в лагранжиане наряду со слагаемым $\xi R\phi^2$, привычным для многих космологических моделей, также члена вида $\eta G_{\mu\nu} \nabla^\mu \phi \nabla^\nu \phi$ (кинетическая связь). Такой лагранжиан является частным случаем общего лагранжиана Хорндески, приводящего к уравнениям движения второго порядка. В недавних работах [1, 2] было показано, что модели с кинетической связью обладают рядом очень интересных особенностей, среди них — механизм, неизбежно приводящий к инфляционной (квази-де Ситтеровской) стадии в прошлом и не требующим "тонкой настройки". Поэтому было бы интересно узнать, к каким новым динамическим свойствам космологической модели может привести наличие в теории обоих типов неминимальной связи с кривизной.

Ввиду нелинейности получаемых динамических уравнений в своём анализе мы будем прежде всего интересоваться асимптотическим поведением, а также использовать численное интегрирование в том числе для представления динамики модели в виде фазового портрета.

Мы будем рассматривать потенциал $V(\phi)$ скалярного поля с полиномиальной зависимостью, а именно включающий квадратичный массовый член, квартичный

член, отвечающий за самодействие поля. В том числе будет исследоваться потенциал хиггсовского типа с нарушенной симметрией. Для полноты анализа мы будем также допускать наличие ненулевой космологической постоянной.

Литература

1. S.V. Sushkov, Phys. Rev. D **85**, 123520 (2012).
2. S.V. Sushkov, R. Galeev, Phys. Rev. D **108**, 044028 (2023).

ВЛИЯНИЕ КИНЕТИЧЕСКОГО СКАЛЯРА КРУЧЕНИЯ НА КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ $F(T)$ ГРАВИТАЦИИ

В.В. Федотов¹, С.В. Червон²

¹ *prokoreck@mail.ru*; Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, 432071, Россия

² *chervon.sergey@gmail.com*; Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, 432071, Россия; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия; Казанский федеральный университет, Казань, 420008, Россия

В продолжение наших исследований по модифицированной $F(T, (\nabla T)^2)$ телепараллельной теории гравитации здесь рассматривается отличие космологических решений в присутствии кинетического скаляра кручения $(\nabla T)^2$ от чисто $F(T)$ гравитации.

За основу принимается модель $F = AT^n + \omega(T)X$, $A > 0$, $A = const.$, рассмотренная в работе [1] для решения квази-де Сттера. Рассматриваются три версии модели при $n = 1$, $\omega = \alpha_1$, $\omega = \alpha_2 T$, $\omega = \alpha_3 T^{-1}$, то есть

$$F_1 = T + \alpha_1 X, F_2 = T + \alpha_2 TX, F_3 = T + \frac{\alpha_3}{T} X, \alpha_i - constants$$

Для каждой версии записаны уравнения космологической динамики в присутствии плотности и давления идеальной жидкости (или скалярного вещества), определены плотность и давление темной энергии, которые характеризуют отклонение от телепараллельного эквивалента (ТЭ) ОТО от модификации $F(T, (\nabla T)^2) = F(T) + F((\nabla T)^2)$.

Рассматривая случай степенной инфляции установлено, что для всех трех моделей уравнение состояния не соответствует темной энергии, то есть $W = p/\rho$ не может быть равным -1 . Переформулировав модель на скалярное вещество рассматривается возможность ранней инфляции [2]. Установлено, что во всех случаях потенциал самодействия $V(\phi)$ имеет степенную (мономиальную) форму. Это указывает на возможность описания ранней инфляции в рамках рассматриваемых моделей скалярно-торсионной гравитации.

Для экспоненциально-степенной эволюции масштабного фактора установлено, что плотность и давление темной энергии убывает на больших временах, что говорит об отсутствии поздней инфляции в данных вариантах модели.

Настоящая работа выполнена в рамках Дополнительного соглашения №073-03-2024-060/1 от 13.02.2024 к Соглашению о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнения работ) № 073-03-2024-060 от 18.01.2024, заключенным между ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова» и Министерством просвещения Российской Федерации.

Литература

1. Fedotov V.V., Chervon S.V. Quasi-de Sitter solution in $f(T, (\nabla T)^2)$ teleparallel gravity. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2024, no. 1, pp. 100–103.
2. Chervon S., Fomin I., Yurov V., Yurov A. Scalar Field Cosmology. Series on the Foundations of Natural Science and Technology, 13, WSP, 2019.

ГРАВИТАЦИОННО-СВЯЗАННЫЕ СИСТЕМЫ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ КВАНТОВАНИЯ

М.Л. Фильченков¹, Ю.П. Лаптев

¹ Институт гравитации и космологии, Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, Москва

Сравниваются свойства гравитационно-связанных систем при квантовании движения микрочастиц (квантовая механика), при квантовании сторонних полей (квантовая теория поля), при квантовании геометрии в целом (квантовая геометродинамика) и самого пространства в целом (квантовая геометрия).

Этим уровням квантования соответствуют следующие объекты и процессы: гравиатомы, додеситтеровская вселенная, рождение Вселенной и частиц, квантовый гравитационный коллапс. Найдены аналогии между соотношениями, полученными для указанных квантовых систем. Сравниваются соотношения гравиатома и атома Леметра; соотношения, полученные для масс минидыр и частиц в гравиатоме и ранней Вселенной; соотношения, полученные для вероятности рождения новой вселенной в результате квантового коллапса и в результате квантовой флуктуации.

Общие свойства гравитационно-связанных систем обусловлены тем, что в одном и том же квантовом объекте или процессе присутствуют сразу несколько уровней квантования. Энергия гравиатома и атома Леметра имеют водородоподобный и осцилляторный спектры. Произведение масс минидыр и заряженных частиц, входящих в состав гравиатома, и масс минидыр и лептокварков, рождающихся в ранней Вселенной, - порядка квадрата планковской массы. Вероятность рождения вселенной определяется туннелированием, независимо от того обусловлено ли оно квантовой флуктуацией или квантовым гравитационным коллапсом.

Возможно согласование струнной и петлевой космологии для моделей, описывающихся идеальной жидкостью. Уже удалось объяснить эффект Хокинга в рамках как теории суперструн, так и петлевой квантовой гравитации.

Литература

1. М.Л. Фильченков, Ю.П. Лаптев, *Квантовая гравитация: От микромира к мегамиру*. – М., УРСС, 304 с., 2024.

**ГРАВИТАЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ
СВЕТОПОДОБНЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ СТРУНАМИ, БЕЗМАССОВЫМИ
ЧАСТИЦАМИ И СВЕТОПОДОБНЫМИ БРАНАМИ**

Д.В. Фурсаев¹

¹ fursaev@theor.jinr.ru; Лаборатория теоретической физики, ОИЯИ

В докладе дается обзор результатов работ, выполненных в соавторстве с Е.А. Давыдовым, И.Г. Пироженко и В.А. Тайновым. Мы исследовали физические эффекты, обусловленные тем, что гравитационное поле объекта, движущегося со скоростью света, имеет характер ударной гравитационной волны (УГВ). Соответствующая геометрия пространства-времени представляет из себя два лоренцевых многообразия, склеенных вдоль нулевой поверхности (фронта ударной волны) по методу Р. Пенроуза. Для того, чтобы описывать воздействие ударной гравитационной волны на полевые системы, мы развили этот подход, применительно к полям разных спинов, формулируя соответствующие условия склейки на волновом фронте. Новые физические эффекты, получаемые в данном подходе, включают предсказание электромагнитных и гравитационных волн при взаимодействии точечных зарядов или масс с УГВ, возникновение вторичных ударных волн в самих полевых системах и ряд других эффектов. Особое внимание было уделено астрофизическим эффектам, связанным с нулевыми космическими струнами, и эффектам от УГВ, порождаемых точечными безмассовыми частицами.

**СОГЛАСОВАНИЕ С НАБЛЮДАТЕЛЬНЫМИ ДАННЫМИ
СКАЛЯРНО-ТОРСИОННОЙ ГРАВИТАЦИИ С ПОЛЕМ САМОДЕЙСТВИЯ
ГАЛИЛЕОННОГО ТИПА**

Т.И. Чаадаева¹

¹ tajorova.tatyana@mail.ru; Лаборатория гравитации, космологии, астрофизики, УлГПУ им. И.Н. Ульянова, Ульяновск, Россия

Скалярно-торсионной гравитация вида [1]

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

содержит следующие параметры: $F = \left(\frac{H}{\lambda}\right)^n$; $P = -\omega X + V$; $G = \gamma X$; $X := \frac{1}{2} \dot{\phi}^2$; T – скаляр кручения; $M_{pl}^2 = (8\pi G)^{-1}$; γ, λ, n – произвольные постоянные величины. В

метрике Фридмана-Робертсона-Уокера уравнения модели сводятся к двум уравнениям, для которых найдены некоторые классы точных космологических решений на основе выбора параметра n , вида скалярного поля ϕ и функции Хаббла H , соответствующие инфляционной динамике эпохи ранней Вселенной [2].

Для согласования с наблюдательными данными [3] рассматриваемой модели по найденным точным космологическим решениям, используется подход расчета космологических параметров, по работе [1]. В качестве индикаторов жизнеспособности модели в инфляционном этапе эпохи ранней Вселенной выбраны следующие параметры: спектр мощности скалярных возмущений P_s , спектральный индекс n_s , тензорно-скалярное отношение r .

Настоящая работа выполнена в рамках Дополнительного соглашения №073-03-2024-060/1 от 13.02.2024 к Соглашению о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнения работ) № 073-03-2024-060 от 18.01.2024, заключенным между ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова» и Министерством просвещения Российской Федерации.

Литература

1. Gonzalez-Espinoza, M. Slow-roll inflation in generalized scalar-torsion gravity / M. Gonzalez-Espinoza, G. Otalora, N. Videla et al // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics — 2019. — Vol. 2019. — No. 08. — P. 029. — DOI: 10.1088/1475-7516/2019/08/029.
2. Chaadaeva, T. I. Exact cosmological solutions of scalar-torsion gravity with a self-interacting field of the Galilean type / T. I. Chaadaeva, S. V. Chervon, I. V. Fomin // Space, Time and Fundamental Interactions. — 2024. — No. 1. — pp. 110–115. — DOI: 10.17238/issn2226-8812.2024.1.110-115.
3. Tristram, M. Improved limits on the tensor-to-scalar ratio using BICEP and Planck data / M. Tristram et al. // Physical Review D. — 2022. — Vol. 105. — P. 083524. — DOI: 10.1103/PhysRevD.105.083524.

ОБРАЗОВАНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ ЧЁРНОЙ ДЫРЫ В ПРОЦЕССЕ ГРАВИТАЦИОННОГО КОЛЛАПСА

Д.А. Шатов¹, В.Д. Вертоградов²

¹ *shatov.ddb@mail.ru*; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия

² *vdvertogradov@gmail.com*; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия

Общая теория относительности, используемая в качестве основы современных представлений о процессах во Вселенной, предсказывает существование областей пространства-времени, пределы которых нельзя покинуть в силу их столь великого гравитационного притяжения - чёрных дыр. Однако неполнота теории следует из теоремы Пенроуза, утверждающей об образовании внутри чёрной дыры сингулярности - точки бесконечной плотности и кривизны.

Преодолеть проблему возникновения сингулярности можно, рассматривая квантовый эффект, либо предполагая нарушение сильного энергетического условия. В таком случае происходит формирование регулярной чёрной дыры - такого объекта, что обладает как минимум одним регулярным горизонтом событий и не имеет центральной сингулярности кривизны.

Само формирование любой чёрной дыры является финальным этапом гравитационного коллапса массивных звёзд. В данном случае исследовался гравитационный коллапс массивной звезды в обобщённом пространстве-времени Вайдья. Результат привёл к новым решениям уравнения Эйнштейна в общем виде. При ряде определённых условий для уравнения состояния, использование этих решений приводит к пространству-времени, описывающему регулярную чёрную дыру. По результатам данной работы в настоящий момент подготавливается статья для публикации в международном журнале "Physical Review D".

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И ВЕЧНАЯ ИНФЛЯЦИЯ

А.В. Юров¹, А.А. Юрова²

¹ БФУ им. И. Канта, Калининград

² БФУ им. И. Канта, Калининград

Глобальная структура вечно раздувающейся вселенной является в высшей степени неоднородной. Локальная эволюция включает в себя классическую динамику, приводящую к уменьшению значения поля и влияние квантовых флуктуаций, стремящихся увеличить это значение. Основной вклад в общий объем раздувающейся вселенной вносят области в которых преобладают последние, а значит глобальная структура становится стохастической и поэтому любые предсказания наблюдений (например температуры реликтового фона) могут быть только вероятностными. Распределение вероятностей полевых переменных описывается уравнением Эйнштейна-Смолуховского, которое выводится из уравнения Ланжевена – полевых уравнений в приближении медленного скатывания дополненных «белым шумом» генерируемым раздувающимися квантовыми флуктуациями поля (что впервые для деситтеровской фазы было сделано А.А. Старобинским в 1986 году). Мы обсуждаем детали этого вывода, а также проблему отсутствия стационарных распределений. Используя ранее установленную в наших работах связь с уравнением Абеля первого рода, показано, что существует естественное обобщение данного уравнения за пределы приближения медленного скатывания, причем итоговое уравнение допускает стационарное распределение. В заключении мы показываем, что выведенное уравнение Фоккера-Планка допускает нетривиальное преобразование Дарбу, удерживающее редуцированное ограничение, в отличие от ранее исследованных случаев.

COULD THE BARROW UNIVERSE BE AN ANTIDOTE FOR COSMOLOGICAL SINGULARITIES?

V. Yurov¹, A. Yurov²

¹ *vayt37@gmail.com*; Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

² *aiurov@kantiana.ru*; Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

We discuss the role of Barrow's "Zero Universe" (a universe with zero scale factor and its's first derivative) in quantum cosmology. In particular, we prove the theorem that in the framework of "many interacting universes" (MIU) cosmological model under some physically sensible assumptions, an existence of the universes with a zero scale factor can effectively prevent the classical cosmological Big Bang/Big Crunch singularities from arising. In other words, by adding a single ingredient, a "zero universe", we can actually remove any threat of standard cosmological singularities – a prediction easily testable on simple models containing just 2 or 3 universes.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

A

Abdullin I.G. 10
Abrarov D.L. 10, 11
Akhtaryanova G.F. 12
Aminova A.V. 13
Aref'eva I.Ya. 28, 36
Avdeev N.A. 13

B

Babichev E. 21
Babourova O.V. 13
Balakin A.B. 14
Bisnovatyi-Kogan G.S. 15
Bolokhov S.V. 16, 19
Bolshakova K.A. 17
Bronnikov K.A. 18, 19
Bykov D.V. 63

C

Chervon S.V. 17, 20

D

Dankovsky I. 21
Dentsel E.S. 27
Dhasmana S. 22
Dimov H. 23
Dokuchaev V.I. 24
Dyadina P.I. 13

E

Efremova A.O. 14, 25
Emelyanov V.A. 26

F

Fomin I.V. 26, 27
Frolov B.N. 13

G

Gilfanov M.R. 27
Glushkov V.L. 27
Gorbunov D. 21
Groshev D.E. 28, 46

H

Hajilou A. 28

I

Ivanov V.R. 29
Ivashchuk V.D. 16
Izmailov R.N. 12, 30, 48

K

Karimov R.Kh. 30
Kazarnovskii K.A. 31
Khakimov D.R. 13
Khidirov U.K. 12
Kuzovchikov A.I. 31

M

Manucharyan G.D. 27
Mikheeva E.V. 41
Milyukov V.K. 31

N

Nandi K.K. 30
Nazmiev A.I. 32

O

Ovchinnikov S.G. 33

P

Popov A.A. 33, 34
Popov V.A. 10, 35
Pozdeeva E.O. 35, 45
Prokopiev K.E. 24

R

Ramazanov S. 21
Rannu K. 28
Rannu K.A. 36
Reshetnyak A.A. 36
Rubin S.G. 33, 34
Rybakov Yu.P. 38

S		Алексеев С.О.	50, 81
Saharian A.A.	39	Аминова А.В.	51
Saha B.	38	Андрианов А.С.	52
Sen A.	22	Арбузов А.Б.	53
Shakirzyanov A.F.	22	Аристов В.В.	54
Sharov M.R.	23	Асташенок А.В.	55
Shestakova T.P.	39	Астраханцев Л.Н.	57
Shtennikova A.M.	40		
Skugoreva M.A.	40	Б	
Skvortsova M.V.	19	Бабенко И.А.	57
Slepov P.	28	Балакин А.Б.	63, 88
Slepov P.S.	36, 41	Баракин С.	59
Solnyshko L.A.	41	Баранов А.М.	59
Sushkov S.V.	42	Башир Шехабаьдин Омер Али	98
		Безруков Ф.	90
T		Белоненко А.В.	105
Tatarenko Yu.A.	43	Белькович И.А.	60
Toporensky A.V.	40	Бизяев И.А.	61
Trung V. Phan	47	Булыженков И.Э.	62
		Бухбиндер И.Л.	62
U			
Usova M.	28	В	
Usova M.K.	44	Валерьев Д.А.	63
		Валиуллин К.Р.	63
V		Вертоградов В.Д.	116
Valencia-Villegas M.	44	Владимиров Ю.С.	65, 66
Vasiliev M.A.	64	Вятчанин С.П.	85
Vernov S.Yu.	29, 45		
Vertogradov V.D.	46	Г	
Vikman A.	21	Галеев Р.Г.	68
Volkova V.E.	67	Гальченко Л.Д.	68
Vorokhov A.V.	46	Гатин Х.А.	69
Vu H. Nguyen	47	Гладышев В.О.	70
Vyatchanin S.P.	32	Горбунов Д.	90
		Горбунов Д.С.	100
Y		Губарев К.	59
Yurov A.	118	Губарев К.А.	71, 103
Yurov V.	118	Гурин Ф.С.	72
Yusupova R.M.	48	Гусев А.В.	105
		Гуц А.К.	73
Z			
Z.K. Silagadze	22	Д	
Zaripov F.Sh.	48	Давыдов Е.А.	75
		Даишев Р.А.	89
A			
АйялаОнья Р.И.	49		

Е		Н	
Ерошенко Ю.Н.	77	Неделько Н.С.	100
Ж		Никитенко А.А.	53
Жилкин А.Г.	57	Николаев П.П.	70
Журавлев В.М.	77, 78	О	
З		Орешкин С.И.	72
Заиграев Н.М.	80	П	
Зверев Г.С.	80	Павелкин В.Н.	100
Зенин О.И.	50, 81	Павлов А.Е.	101
И		Павлов Б.П.	89
Иванов Е.А.	82	Павлов Ю.В.	102
Игнатъев Ю.Г.	83	Панов В.Ф.	100
Ишкаева В.А.	84	Пастон С.А.	91
К		Петров Т.А.	103
Карпенко А.В.	85	Попов С.М.	105
Кауц В.Л.	70	Порайко Н.К.	104
Кашаргин П.Е.	86	Р	
Каютенко А.В.	70	Руденко В.Н.	105
Киракосьянц Ф.Т.	87	Руденко К.В.	72
Кириллов А.А.	87	С	
Киселев Г.Б.	88	Савелова Е.П.	87
Козырев С.М.	89	Садеков Д.И.	105
Корешкова Е.	90	Сажина О.С.	94, 106
Купцов С.С.	91	Сибгатуллин А.Б.	107
Куренкова А.С.	92	Соловьев А.В.	107
Л		Спирин Е.О.	108
Лаптев Ю.П.	114	Сушков С.В.	68, 69, 84, 86, 112
Лебедев А.А.	86	Сюняев Р.А.	109
Люлинский М.Х.	51	Т	
М		Тайнов В.А.	110
Манучарян Г.Д.	70	Тимохин М.В.	68
Мелихов А.Н.	93	Тимошкин А.В.	110
Митрофанов В.П.	68, 93	Ф	
Михеева Е.В.	93	Фаляхов И.С.	111
Моисеев Ю.А.	94	Фатыхов Р.Р.	112
Молчанов А.Б.	95	Федотов В.В.	113
Мусаев Э.	59	Фильченков М.Л.	114
Мусаев Э.Т.	97, 103	Фомин И.В.	70
Мухарлямов Р.К.	98	Фурсаев Д.В.	115

Ч

- Чаадаева Т.И. 115
Червон С.В. 113
Чудайкин А.С. 100

Ш

- Шарандин Е.А. 70
Шатов Д.А. 116
Шейкин А.А. 91

Ю

- Ю.В. Думин 76
Юров А.В. 117
Юрова А.А. 117