

на правах рукописи

Янишевский Даниил Михайлович

**КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ С ВРАЩЕНИЕМ
И С ТЁМНОЙ ЭНЕРГИЕЙ**

Специальность 01.04.02 – Теоретическая физика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва– 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ПГНИУ).

Научный руководитель: **Панов Вячеслав Федорович**,
доктор физико-математических наук, профессор, профессор
кафедры высшей математики ПГНИУ.

Официальные оппоненты: **Кречет Владимир Георгиевич**,
доктор физико-математических наук, профессор, профессор
кафедры физики ФГБОУ ВПО Московский государственный
технологический университет «СТАНКИН»;

Мухарлямов Руслан Камилевич,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
теории относительности и гравитации ФГАОУ
«Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова».

Защита состоится «13» октября 2021 г. в ___ час. ___ мин. на заседании диссертационного совета ПДС 0200.004 при РУДН по адресу: 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 3, ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (РУДН) по адресу: 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.

Объявление о защите размещено на сайтах ВАК и РУДН: <https://vak.minobrnauki.gov.ru>,
<http://dissovet.rudn.ru>.

Автореферат разослан «__» сентября 2021 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета ПДС 0200.004
кандидат физико-математических наук



Будочкина С. А.

Общая характеристика работы

Актуальность темы

В последние годы произошла новая революция в космологии: открыто ускоренное расширение Вселенной, которое можно отнести к двум концепциям, любая из которых должна привести к пересмотру наших основных физических представлений:

1) большая часть плотности энергии Вселенной существует в форме неизвестной субстанции (её называют тёмной энергией) с большим отрицательным давлением, обеспечивающим ускоренное расширение и (или)

2) общая теория относительности должна быть пересмотрена на космологических масштабах.

Обеим концепциям рядом авторов посвящены разные теоретические исследования. Если следовать первой, то тогда получается, что 96% всей энергии Вселенной составляют темная энергия и темная материя, природу которых еще предстоит выяснить. Вместе с тем в настоящее время не исключается возможное малое вращение Вселенной и ее слабая глобальная анизотропия. Отметим здесь заявление Берча¹ об обнаружении анизотропии поляризации радиоизлучения внегалактических источников и астрономические наблюдения группы Андреасяна. Результаты этих работ убедительно не опровергнуты. Публикация Берча дала толчок теоретическим исследованиям по космологии с вращением. Здесь можно отметить работы: Иваненко, Обухова, Короткого², Кречета³, Панова⁴, Шикина⁵, Сайбаталова, Фильченкова⁶, Павелкина⁷ и др.; из зарубежных авторов следует отметить таких исследователей, как Грен, Соленг⁸, Вайдья, Патель⁹, Свистинс¹⁰, Ребоуказ, Тиомно¹¹ и др.

¹ Birch P. Is the Universe Rotating? // Nature.-1982.-V.298.-N. 5873.-P.451-454.

² Иваненко Д.Д., Короткий В.А., Обухов Ю.Н. Микроволновое фоновое излучение во вращающейся и расширяющейся Вселенной // Астрон. цирк. АН СССР. – 1987. – № 1510. – С.2 – 4.

³ Кречет В.Г. Современные космологические данные и вращение вселенной // Известия вузов. Физика. - 2005. - Т. 48, N 3. - С. 3 - 6.

⁴ Панов В.Ф. Исследование вращения Вселенной // Изв. вузов. Физика. – 1985. – №1. – С.22 – 25

⁵ Шикин Г.Н. О влиянии электромагнитного и действительного скалярного полей на комплексное массивное скалярное поле во Вселенной Геделя // Проблемы теор. гравитации и элем. частиц. / Под ред. К.П.Станюковича. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – Вып.15. – С.98 – 102.

⁶ Fil'chenkov M.L., Saibatalov R.X. Quantum model of a universe with rotation // Contributions to V Intern. Conf. on Gravitat. and Astrophys. of Asian – Pacific Countries. – М., 2001. – P.104 – 105.

⁷ Pavelkin V.N, Panov V.F. Large scale anisotropy of microwave background radiation in rotating cosmologies // Int. J. Mod. Phys. D. – 1995. – Vol.4, N 1. – P.161 – 165.

⁸ Gron O., Soleng H.H. Decay of primordial cosmic rotation in inflationary cosmologies // Nature. – 1987. – Vol.328, N 6130. – P.501 – 503.

⁹ Vaidya P.C., Patel L.K. A rotating homogeneous Universe with an electromagnetic field // Gen. Relat. And Grav- it. – 1984. – Vol.16, N 4. – P.355 – 364.

¹⁰ Sviestins E. Some rotating, time – dependent Bianchi type IX cosmologies with heat flow // Gen. Relat. and Grav- it. – 1985. – Vol.17, N 6. – P.521 – 523.

Актуальность проведенного исследования определяется тем, что космология с вращением как альтернативный подход в теоретической космологии дает возможность объяснять наблюдательные данные, не укладывающиеся в рамки фридмановской теории, предсказать и изучать новые космологические эффекты, что позволяет полнее познать физическую картину мира. Вопрос о том, вращается наша Вселенная или нет, далеко не выяснен и является предметом научной дискуссии, это подтверждается публикациями по данной теме, что само по себе говорит об актуальности проблемы глобального вращения. Исследование вращения Вселенной может установить возможную связь космологического вращения с вращением галактик. Выяснение роли вращения в квантовой космологии способствует развитию космологии ранней Вселенной. Необходимость построения наиболее реальной модели Вселенной, быть может, с учетом вращения, определяет важность и научную значимость исследований в этой области.

Цель работы

Целью данной работы было построение космологических моделей с анизотропными пространственно-временными метриками различных типов и их анализ на предмет возможности моделирования разных космологических этапов.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. В рамках общей теории относительности получить космологические решения с метриками II, V, VIII типов по Бьянки, соответствующие различным динамическим режимам.
2. Изучить вопрос о спонтанном нарушении калибровочной симметрии в однородном, изотропном пространстве с метрикой VIII типа по Бьянки.
3. Исследовать возможность квантового рождения вселенной в вышеуказанном пространстве.
4. Проанализировать возможность описания в различных анизотропных метриках инфляционной, фридмановской и современной космологических стадий, найти соответствующие космологические решения.

Научная новизна:

1. Построены и исследованы новые космологические модели с вращением в ОТО, отвечающие анизотропным метрикам в присутствии неисследованных ранее сочетаний материальных источников.
2. Впервые изучено спонтанное нарушение калибровочной симметрии в космологии с вращением с метрикой VIII типа по Бьянки.

¹¹ Reboucas M.J., Tiomno J. Homogeneity of Riemannian space – times of Godel type // Phys. Rev. – 1983. – Vol.28, N 6. – P.1251 – 1264.

3. Впервые проведено исследование квантового рождения модели вселенной в рамках подхода Уилера-ДеВитта для космологического решения с вращением с метрикой типа VIII по Бьянки при наличии трёх материальных источников, моделирующих ультрарелятивистскую материю, пылевидное вещество и тёмную энергию.

Методология и методы исследования

Данная работа представляет собой теоретическое моделирование некоторых аспектов космологии с вращением. При её выполнении применялась общая теория относительности, теория дифференциальных уравнений, алгебраические методы, качественные подходы, использовались данные современной космологии.

Положения, выносимые на защиту:

1. Построена космологическая модель с вращением в пространстве-времени с метрикой II типа по Бьянки с анизотропной жидкостью, моделирующей тёмную энергию, скалярным полем и полем излучения. Построена космологическая модель с метрикой V типа по Бьянки с анизотропной жидкостью, моделирующей тёмную энергию, и полем излучения. Построена космологическая модель с метрикой VIII типа по Бьянки с анизотропной жидкостью, моделирующей тёмную энергию и полем излучения. В пространстве-времени с метрикой того же типа построена космологическая модель с вращением, источниками гравитации которой являются анизотропная жидкость, описывающая вращающуюся тёмную энергию и идеальная жидкость, описывающая барионную материю, при этом одно из давлений задаётся уравнением состояния газа Чаплыгина, а идеальная жидкость является пылевидной. Полученные из уравнений Эйнштейна выражения для масштабного фактора соответствуют экспоненциальному или асимптотически экспоненциальному расширению такой модельной вселенной. Найденные в ряде моделей решения могут описывать как первую, так и вторую инфляционные стадии развития Вселенной. Все сконструированные расширяющиеся модели можно согласовать с наблюдаемым значением постоянной Хаббла.
2. Исследовано спонтанное нарушение калибровочной симметрии скалярного поля в однородном анизотропном пространстве VIII типа по Бьянки с вращением. Найден устойчивые состояния поля, получены значения их энергий. В пространстве того же типа в рамках подхода Уилера-ДеВитта изучено квантовое рождение вселенной, заполненной анизотропной и двумя изотропными жидкостями, моделирующими, соответственно, тёмную энергию и два вида барионной материи, найден коэффициент туннелирования, установлено, что учёт тёмной и барионной материи может увеличить вероятность рождения вселенной с вращением.

3. В пространствах с метриками II, VIII и IX типов по Бьянки установлено, что можно единым подходом охватить фридмановские и постфридмановскую космологические стадии. В рамках данных сценариев рассматривается инфляционная стадия. Доказано, что во всех трёх сценариях давление изначально анизотропной жидкости асимптотически изотропизируется, а её вращение замедляется, также во всех сценариях угловая скорость вращения Вселенной в современную эпоху составляет порядка 10^{-11} 1/год. Все построенные космологические сценарии согласуются с наблюдаемым значением постоянной Хаббла в современную эпоху. Ненулевое значение угловой скорости представляет определённый интерес для новых возможных астрофизических расчётов и наблюдений.

Достоверность результатов

Все результаты диссертации по космологии с вращением, полученные в рамках теории гравитации Эйнштейна, являются воспроизводимыми и согласованными с работами других авторов.

Теоретическая и практическая ценность

Результаты, изложенные в диссертации, могут быть использованы в исследованиях по космологии, теории гравитации, теории поля. Ценность работы состоит в дальнейшем развитии космологии на «постфридмановском» этапе с учетом не только расширения, но и вращения. Это дает возможность приблизиться к адекватной модели нашей Вселенной. Изучение квантового рождения космологических моделей с вращением может быть использовано при исследовании процессов в ранней Вселенной.

Апробация

Основные результаты диссертации докладывались на российских и международных научных конференциях: на XV-й Российской гравитационной конференции «Международная конференция по гравитации, космологии и астрофизике» (RUSGRAV-15), XII-й Международной конференции по гравитации, астрофизике и космологии, посвящённой юбилею общей теории относительности (ICGAC-12), 5-й Ульяновской международной школе-семинаре «Проблемы теоретической и наблюдательной космологии» (UISS 2016), XVI-й Всероссийской гравитационной конференции «Международная конференция по гравитации, космологии и астрофизике» (RUSGRAV-16), 3-й Международной зимней школе-семинаре по гравитации, космологии и астрофизике «Петровские чтения-2017», 4-й Международной зимней школе-семинаре по гравитации, космологии и астрофизике "Петровские чтения – 2018", а также на пермском гравитационном семинаре в ПГНИУ в 2014 – 2018 г.

Публикации

Результаты диссертации опубликованы в научных статьях, 7 из которых напечатаны в

журналах, входящих в перечень ВАК, включая 2 издания из международной базы данных «Scopus», а также в тезисах докладов на конференциях, указанных выше.

Личный вклад.

Настоящая диссертация основана преимущественно на результатах работ, сделанных автором лично [1]-[3] и совместно с соавторами [4]-[7]. При этом в совместной работе [4] личный вклад автора сводится к выполнению расчётов, касающихся фридмановских космологических стадий, и участию в обсуждении вопросов, связанных с трактовкой кинематики материальных источников в выбранной системе отсчёта. В совместной работе [5] личный вклад автора состоит в проведении преимущественной части расчётов на фридмановских и постфридмановской стадиях, в работе [6], выполненной в соавторстве, – в решении вопроса о спонтанном нарушении симметрии комплексного скалярного поля в пространстве с метрикой VIII типа по Бьянки. В совместной работе [7] личный вклад автора относится к нахождению космологических решений на фридмановском и современном этапах.

Структура и объём диссертации.

Диссертационная работа состоит из оглавления, введения, трёх глав, заключения и списка литературы. Полный объём диссертации составляет 115 страниц. Список цитируемой литературы включает 198 наименований.

Основное содержание работы

Во **Введении** перечисляются нерешенные проблемы космологии, указывается интерпретация космологического вращения как вращения векторного поля 4-скорости жидкости, заполняющей Вселенную, описываются цели исследования, обсуждается актуальность темы, дается краткое изложение содержания диссертации, отмечается ее апробация и личный вклад автора.

В **первой главе** дается обзор известных автору работ по космологии с вращением.

В первом параграфе приводится краткое содержание публикаций, в которых обосновывается или оспаривается идея вращения Вселенной с точки зрения наблюдательной космологии.

Во втором параграфе приводится обзор статей, посвящённых проблеме тёмной энергии.

Во **второй главе** автором построены космологические стационарные и нестационарные модели с вращением в метриках II, V, VIII типов по Бьянки.

Первый параграф содержит космологическую модель с метрикой II типа по Бьянки.

Метрика имеет вид

$$ds^2 = (dt - R(t)\sqrt{b}(dx - zdy))^2 - R^2(t)((a+b)(dx - zdy)^2 + dz^2 + dy^2), \quad (1)$$

где $a > 0$, $b > 0$ - константы. Источниками гравитации являются анизотропная жидкость, которая описывает вращающуюся темную энергию, чистое излучение а также скалярное поле.

В рамках ОТО находятся решения уравнений Эйнштейна

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2}\eta_{\alpha\beta}R = T_{\alpha\beta}. \quad (2)$$

Рассмотрены 3 вида потенциальной функции массивного скалярного поля:

$$U = \frac{m^2\phi^2}{2}, \quad (3)$$

$$U = \frac{m^2\phi^2}{2} + \frac{\lambda\phi^4}{4}, \quad (4)$$

$$U = -\frac{m^2\phi^2}{2} + \frac{\lambda\phi^4}{4}. \quad (5)$$

В случае, соответствующем потенциалу (3), найденное решение уравнений Эйнштейна даёт экспоненциальный режим расширения модельной вселенной, в случаях (4)-(5) имеет место более сложная эволюция масштабного фактора, стремящаяся к экспоненте на больших временах. Параметры

материи ведут себя следующим образом: $\rho \rightarrow \frac{3a}{a+b} \left(\frac{Q}{3} - \frac{m^2(a+b)}{3aQ} \right)^2$, давления

$$\pi \rightarrow -\frac{3a}{a+b} \left(\frac{Q}{3} - \frac{m^2(a+b)}{3aQ} \right)^2, \quad p \rightarrow -\frac{3a}{a+b} \left(\frac{Q}{3} - \frac{m^2(a+b)}{3aQ} \right)^2 \quad \text{при } t \rightarrow \infty. \quad \text{Кинематические параметры}$$

модели: параметр расширения $\theta = \frac{3\dot{R}}{R}$, ускорение $A = \frac{\sqrt{b}\dot{R}}{\sqrt{a+b}R}$, угловая скорость вращения

$\omega = \frac{\sqrt{b}}{2R}$, сдвиг отсутствует. Таким образом, видно, что во всех трёх рассматриваемых случаях

вращение анизотропной жидкости со временем затухает, а сама жидкость асимптотически изотропизируется. Полученная модель может рассматриваться как обобщение работы авторов¹² на случай анизотропной жидкости в качестве материального источника, а полученные решения позволяют моделировать первую стадию инфляции.

Во 2 параграфе рассмотрена модель с метрикой V типа по Бьянки с источниками в виде анизотропной жидкости и чистого излучения. Метрика имеет вид:

$$ds^2 = \sum_{\alpha=0}^3 \sum_{\beta=0}^3 \eta_{\alpha\beta} \theta^\alpha \theta^\beta, \quad (6)$$

где $\eta_{\alpha\beta}$ - элементы диагональной лоренцевой матрицы, θ_α - ортонормированные 1-формы:

¹² Panov V.F., Kuvshinova E.V., Sandakova O.V. Rotating Nonstationary Cosmological Models and Astrophysical Observations // Gravitation and Cosmology. – 2014. – Vol. 20. №2. P. 138-140.

$\theta^0 = dt - R v_A e^A$, $\theta^1 = R K_1 e^1$, $\theta^2 = R K_2 e^2$, $\theta^3 = R K_3 e^3$, при этом константы $K_A = \{a, b, c\}$, $v_A = \{d, 0, 0\}$, $A = 1, 2, 3$.

1 – формы e^A :

$$\begin{aligned} e^1 &= dx, \\ e^2 &= e^x dy, \\ e^3 &= e^x dz. \end{aligned} \quad (7)$$

Построены две космологические модели: с анизотропной жидкостью и с полем чистого излучения. Решён вопрос о вращении, поведении материи и кинематических параметрах моделей.

Третий параграф посвящён двум моделям: анизотропной модели Вселенной, заполненной изотропной и анизотропной жидкостями и модели с анизотропной жидкостью и полем излучения. Метрика VIII имеет вид

$$ds^2 = \eta_{\alpha\beta} \theta^\alpha \theta^\beta, \quad \alpha, \beta = \overline{0, 3}, \quad (8)$$

где $\eta_{\alpha\beta}$ – элементы диагональной лоренцевой матрицы, θ_α – ортонормированные 1-формы, выражающиеся следующим образом:

$$\theta^0 = dt - R v_A e^A, \quad \theta^1 = R K_1 e^1, \quad \theta^2 = R K_2 e^2, \quad \theta^3 = R K_3 e^3, \quad v_A, K_A – \text{константы}, \quad A = 1, 2, 3.$$

1 – формы e^A имеют следующий вид :

$$\begin{aligned} e^1 &= ch y \cos z dx - \sin z dy, \\ e^2 &= ch y \sin z dx + \cos z dy, \\ e^3 &= sh y dx + dz. \end{aligned} \quad (9)$$

Для метрики (8) – (9) ищется решение уравнений Эйнштейна.

Первой модели соответствует тензор энергии-импульса

$$T_{ik} = (p + \rho) u_i u_k + (\pi - p) \chi_i \chi_k - p \eta_{ik} + \mu v_i v_k, \quad (10)$$

где ρ – плотность энергии анизотропной жидкости, p и π – её давления, χ_i – компоненты вектора анизотропии, μ – плотность энергии изотропной, пылевидной жидкости.

Второй модели соответствует тензор энергии-импульса

$$T_{ik} = (p + \rho) u_i u_k + (\sigma - p) \chi_i \chi_k + (\pi - p) \xi_i \xi_k - p \eta_{ik} + w k_i k_k, \quad (11)$$

где ρ – плотность энергии анизотропной жидкости, p , π , σ – её давления, χ_i , ξ_i – компоненты векторов анизотропии, k_i – компоненты волнового вектора поля излучения.

Исследованы различные решения уравнений (2), изучены поведение материи, причинность, характер вращения. Темная энергия второй модели, которая может быть или квинтэссенцией, или фантомной материей, является вращающейся, причём одна её составляющая всё время имеет вакуумоподобное уравнение состояния. При $t \rightarrow \infty$ $\rho \rightarrow 3(c^2 - d^2)H^2 / c^2$, $k_0 \rightarrow 0$, $p, \pi \rightarrow 3(d^2 - c^2)H^2 / c^2$. Построенные в данном параграфе

динамические модели согласуются с современным значением постоянной Хаббла и могут быть использованы для исследования различных физических эффектов в космологии с вращением.

Параграф 4 посвящён моделям, использующим уравнение состояния газа Чаплыгина. Источниками гравитации первой из них являются анизотропная жидкость, которая описывает вращающуюся темную энергию и идеальная жидкость, описывающая барионную и тёмную материю. Во второй модели правая часть уравнений Эйнштейна представлена анизотропной жидкостью, идеальной жидкостью и космологической постоянной. Получены режимы с вращением, при этом ими можно моделировать как современную стадию ускоренного расширения, так и стадию первой инфляции.

В параграфе 5 построены модели с анизотропной жидкостью, скалярным полем и излучением в пространстве-времени с метрикой VIII типа по Бьянки (8)-(9) в присутствии анизотропной жидкости, чистого излучения и скалярного поля, при этом потенциал скалярного поля удовлетворяет уравнениям (3)-(5). Доказано, что анизотропная тёмная энергия асимптотически изотропизируется, вращение её замедляется, а масштабный фактор нарастает экспоненциально или по более сложному закону, стремящемуся к экспоненте на больших временах.

Шестой параграф содержит исследование явления спонтанного нарушения калибровочной симметрии в статической и нестатической космологических моделях. Для возникновения спонтанного нарушения симметрии во внешнем гравитационном поле, вообще говоря, существенно то, что скалярное поле описывается уравнением с конформной связью¹³. При этом член $R/6$ может играть ту же роль, что и отрицательный квадрат массы, и приводить к спонтанному нарушению симметрии. В работе исследовано спонтанное нарушение симметрии комплексного поля с лагранжианом

$$L = \sqrt{-g} [g^{ik} \partial_i \varphi^* \partial_k \varphi - (m^2 + R/6) \varphi^* \varphi - (\Lambda/6) (\varphi^* \varphi)^2], \quad (12)$$

обнаружено наличие эффекта спонтанного нарушения калибровочной симметрии в стационарной и нестационарной космологических моделях с вращением с метрикой типа VIII по Бьянки при определенных условиях, налагаемых на метрические коэффициенты, параметры поля и параметры вращения моделей. Найдены устойчивые вакуумные состояния, получены значения их энергий.

В седьмом параграфе исследуется квантовое рождение вращающейся вселенной в подходе Уилера–ДеВитта. Пространство–время с метрикой (8)–(9) можно расщепить на

¹³ Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М. Вакуумные квантовые эффекты в сильных полях. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат. – 1988. – 288 с.

пространство и время согласно стандартной процедуре¹⁴. Для этого метрику можно представить в виде

$$ds^2 = -N^2 dt^2 + g_{ab}(dx^a + N^a dt)(dx^b + N^b dt), \quad (13)$$

где N – функция хода, N^a – вектор сдвига, а нормальный базис на гиперповерхностях постоянного параметра $t=\text{const}$ определяется триадой касательных векторов e_a^α (a – реперный, α – координатный индекс); $e_a^0 = 0$, $e_a^b = \delta_a^b$ ($a, b = 1, 2, 3$). Единичный времениподобный нормальный вектор к трехмерной пространственноподобной гиперповерхности постоянного параметра $t=\text{const}$ имеет вид

$$n_\alpha = (-N, 0, 0, 0), \quad \alpha = 0, 1, 2, 3. \quad (14)$$

Ψ – волновая функция Вселенной – удовлетворяет уравнению Уилера-ДеВитта

$$T_\perp \Psi = 0 \quad (15)$$

и уравнениям суперимпульсов

$$T_a \Psi = 0. \quad (16)$$

Автором получены уравнения (15)-(16) пространстве-времени типа (8)-(9). Установлено, что уравнения суперимпульсов влекут за собой вакуумоподобность одного давления анизотропной жидкости(тёмной энергии), а уравнение Уилера-ДеВитта сводится к

$$\frac{d^2 \Psi}{dR^2} - U(R)\Psi = 0, \quad (17)$$

где

$$U(R) = \frac{R(-12a^2 b D R^3 + 3b^3 R - 4a^2(a+b)\mu_0)}{12a^2 b} - \frac{4a^2(b(5b^2 - 3) + 3a(b^2 - 1))\varepsilon_0}{9b(b^2 - 1)}, \quad (18)$$

а величины ε_0, μ_0, D – константы. Найден коэффициент туннелирования, показано, что учёт тёмной и барионной материи может увеличивать вероятность рождения вселенной с вращением.

В третьей главе в однородных, но не изотропных метриках нами исследуются космологические сценарии – космологические модели, охватывающие сразу несколько стадий, при этом излучение моделируется идеальной жидкостью с ультрарелятивистским уравнением состояния, тёмная и барионная материя – идеальной пылевидной жидкостью, а тёмная энергия – анизотропной жидкостью.

В первом параграфе построен сценарий с метрикой типа II по Бьянки

¹⁴ Пономарёв В.Н., Барвинский А.О., Обухов Ю.Н. Геометродинамические методы и калибровочный подход к теории гравитационных взаимодействий. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168с.

$$ds^2 = dt^2 - 2R(t)\sqrt{b}e^{(1)}dt - R^2(t)\left[A(e^{(1)})^2 + (e^{(2)})^2 + (e^{(3)})^2\right], \quad (19)$$

где $A, b - const, A > 0, b > 0, e^{(1)} = dx - zdy, e^{(2)} = dy, e^{(3)} = dz$.

Исследованы стадии преобладания ультрарелятивистской материи, пылевидного вещества и тёмной энергии. Установлено, что кинематические параметры анизотропной жидкости (тёмной энергии) в рассматриваемом сценарии имеют вид: расширение $\Theta = \frac{3\dot{R}}{R}$,

вращение $\omega = \frac{\sqrt{b}}{2R}$, ускорение $a = \frac{\sqrt{b}\dot{R}}{\sqrt{A+bR}}$. Сдвиг отсутствует, вращение, сдвиг, и ускорение

у пыли отсутствуют.

Во втором параграфе - сценарий с метрикой типа VIII по Бьянки (8) – (9), при этом рассматривается ещё и I стадия инфляции, соответствующая скалярному полю и тёмной энергии как источникам гравитации. Кинематические параметры вращающейся анизотропной жидкости(тёмной энергии) в сценарии с данной метрикой имеют вид: $\Theta = 3\dot{R}/R$ - расширение, $A = \dot{R}/bR$ - ускорение, $\omega = 1/2a^2R$ - параметр вращения, сдвиг отсутствует, а изначально анизотропная жидкость асимптотически изотропизируется. Использование, помимо уравнений Эйнштейна, равенства нулю ковариантных дивергенций пылевидной и ультрарелятивистской материи позволяет построить космологический сценарий на фридмановском и постфридмановском этапах в рамках единого подхода.

Стадия инфляции описывается с помощью введения экспоненциально убывающего скалярного поля, потенциал U которого не предполагается предзаданным, а находится как решение соответствующего полевого уравнения совместно с уравнениями Эйнштейна. В итоге

$$U = \frac{H^2(1-b^2)}{b^2} \left(3\varphi_0^2 \ln(\varphi_0^2 + \varphi^2) - 2\varphi^2 \right). \quad (20)$$

График потенциала (20):

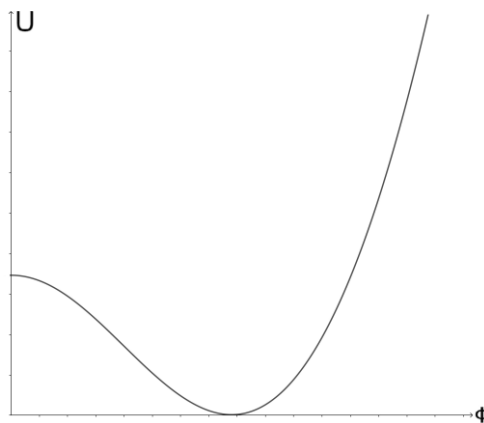


Рисунок 1.

Зависимость (20), таким образом, соответствует(феноменологически) переходу в процессе расширения Вселенной энергии поля в энергию рождающихся частиц.

В третьем параграфе построен сценарий в метрике типа IX по Бьянки вида

$$ds^2 = \eta_{\alpha\beta} \theta^\alpha \theta^\beta, \quad (\alpha, \beta = 0, 1, 2, 3) \quad (21)$$

Здесь $\eta_{\alpha\beta}$ — лоренцева матрица, θ^α — ортонормированные 1-формы, выражающиеся следующим образом:

$$\theta^0 = dt - R v_A e^A, \quad \theta^1 = R K_1 e^1, \quad \theta^2 = R K_2 e^2, \quad \theta^3 = R K_3 e^3, \quad (22)$$

где $R = R(t)$, а $K_A, v_A = \text{const}$, причём $K_A > 0$, при $A = 1, 2, 3$.

1 – формы e^A имеют вид

$$\begin{aligned} e^1 &= \cos y \cos z dx - \sin z dy, \\ e^2 &= \cos y \sin z dx + \cos z dy, \\ e^3 &= -\sin y dx + dz. \end{aligned} \quad (23)$$

Тензор энергии-импульса сопутствующей анизотропной жидкости в тетрадном представлении имеет вид

$$T_{ab}^{(1)} = (\pi + \rho) u_a u_b + (\sigma - \pi) \chi_a \chi_b - \pi \eta_{ab}, \quad (24)$$

где π, σ – компоненты давления анизотропной жидкости, ρ – плотность энергии анизотропной жидкости, $\chi_i = \{0, 1, 0, 0\}$ – проекция на тетраду вектора анизотропии, $u_a = \delta_0^a$ – вектор 4 – скорости сопутствующей анизотропной жидкости(в проекции на тетраду).

Тензор энергии - импульса несопутствующей идеальной пылевидной жидкости:

$$T_{ab}^{(2)} = \varepsilon v_a v_b, \quad (25)$$

где ε – плотность энергии пыли, v_a – тетрадные компоненты её 4-скорости.

Тензор энергии – импульса идеальной ультрарелятивистской жидкости:

$$T_{ab}^{(3)} = (\varepsilon_1 + p) V_a V_b - \pi \eta_{ab}, \quad (26)$$

где ε_1 – плотность её энергии, p – давление, V_a – тетрадные компоненты 4-скорости данной жидкости. Уравнение состояния идеальной ультрарелятивистской жидкости имеет вид

$$p = \varepsilon_1 / 3. \quad (27)$$

В рамках ОТО установлено, что в общем виде эволюция масштабного фактора в рассматриваемом космологическом сценарии соответствует зависимости

$$t = \int \frac{RdR}{\sqrt{DR^4 - AR^2 + \frac{2}{3}CR + \frac{B}{2}}}, \quad (28)$$

где A, B, C, D , - константы, связанные с метрикой и параметрами материи. Исследование выражения (28) показывает ($R_0, \tilde{R}_0, \check{R}_0$ - константы), что при малых временах приближёно получается $R = R_0 \sqrt{t}$, при некоторых промежуточных временах - $R = \tilde{R}_0 t^{2/3}$, а при больших временах $R = \check{R}_0 e^{Ht}$, $H > 0$, что соответствует фридмановским и постфридмановской стадиям.

Все три космологических сценария обладают следующими кинематическими характеристиками: параметр расширения анизотропной жидкости $\theta \sim \frac{\dot{R}}{R}$, параметр ускорения $a \sim \frac{\ddot{R}}{R}$, параметр вращения $\omega \sim \frac{1}{R}$, сдвиг отсутствует. Если считать тогда на качественном уровне, что на I стадии инфляции в рамках каждого из сценариев присутствует анизотропная вращающаяся жидкость (тёмная энергия) и ещё некоторые поля – источники тяготения, а $\omega \sim R^{-1}$ на протяжении всей эволюции, описываемой нашими моделями. При этом положим, что тёмная энергия, моделируемая анизотропной жидкостью, не передаёт вращение другим видам материи (частицам, рождённым по окончании инфляции) и на фридмановском этапе. Тогда при моделировании нашими сценариями всей космологической эволюции, считая, что масштабный фактор Вселенной эволюционирует при раздувании и последующем расширении от планковского значения $R_{pl} \approx 10^{-33}$ см до современного размера наблюдаемой вселенной $R_c \approx 10^{28}$ см и полагая при этом, что в планковскую эпоху скорость вращения тёмной энергии $\omega_{pl} \approx 10^{43} \text{ с}^{-1}$, можно получить угловую скорость вращения анизотропной жидкости (тёмной энергии) $\omega_c \approx 10^{-11} \text{ 1/год}$, что совпадает с результатами других исследователей¹⁵. В ряде работ^{16,17} исследовано воздействие кривизны пространства-времени на относительный поляризационный угол между направлением максимальной вытянутости радиоисточника и направлением интегральной плоскости поляризации при распространении излучения от источника к наблюдателю. Это должно привлечь внимание астрофизиков к поискам анизотропии, обусловленной глобальным вращением Вселенной, на основе наблюдательных исследований относительного позиционного угла Δ для различных радиогалактик.

В заключении подводятся итоги диссертационной работы. Основные результаты:

Метрики II, V и VIII типов по Бьянки с источниками-жидкостями и полем излучения позволяют строить вращающиеся космологические модели с причинной геометрией пространства-времени. Построенные модели II и VIII типов со скалярным полем позволяют

¹⁵ Кречет В.Г. Современные космологические данные и вращение вселенной // Известия вузов. Физика. - 2005. - Т. 48, N 3. - С. 3 - 6.

¹⁶ Панов В.Ф. Исследование космологических моделей с вращением // Тез. докл. VII Совет. гравит. конф. – Ереван: Изд – во ЕГУ, 1988. – С.447 – 448.

¹⁷ Панов В.Ф. Вращающиеся модели ранней Вселенной // Изв. вузов. Физика. – 1989. – №6. – С.67 – 70.

описывать первую стадию инфляции. Метрика V типа позволяет моделировать ускоренное расширение Вселенной как с вращением, так и без такового. Метрика VIII типа позволяет моделировать как расширительные, так и осциллирующие режимы динамики Вселенной. Методом поиска замкнутых времениподобных кривых доказана причинность в рассматриваемых пространствах.

Эффект спонтанного нарушения калибровочной симметрии обнаружен в стационарной и нестационарной космологических моделях с вращением в метриках типа VIII по Бьянки при определенных условиях, налагаемых на метрические коэффициенты, параметры поля и параметры вращения моделей.

Исследовано квантовое рождение вселенной с метрикой типа VIII по Бьянки, заполненной анизотропной жидкостью и двумя изотропными жидкостями (с пылевым и ультрарелятивистским уравнениями состояний) и влияние материи на вероятность этого процесса.

Установлено, что в пространствах с метриками II, VIII и IX типов по Бьянки возможно построение анизотропной космологии, охватывающей единым подходом согласованные с инфляционной стадией фридмановские и постфридмановский космологические этапы.

Построенные сценарии не противоречат наблюдательным данным.

Основные публикации автора по теме диссертации

1. Янишевский Д.М. Космологические модели с вращением типа VIII по Бьянки с анизотропной жидкостью, скалярным полем и излучением // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика, информатика, физика. – 2017. – Т.25, №2. – С. 192-198.
2. Янишевский Д.М. Космологические модели с вращением типа VIII по Бьянки с источниками-жидкостями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика, информатика, физика. – 2017. – Т.25, №4. – С. 380-389.
3. Янишевский Д. М. Космологические модели типа VIII по Бьянки с жидкостью, описываемой уравнением состояния газа Чаплыгина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика. Информатика. Физика. – 2018. – Т. 26, № 4. – С. 393–398.
4. Panov V.F., Kuvshinova E.V., Yanishevsky D.M. and Sandakova O.V. Bianchi type II cosmological model of the Universe's evolution // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics. – Vol. 15, №1(2018), С. 1850016.

5. Панов В.Ф., Сандакова О.В., Янишевский Д.М., Черемных М.Р. Модель эволюции Вселенной для метрики типа VIII по Бьянки // Изв. вузов. Физика. – 2018. – Т.61, №9. – С.70 – 77.
6. Янишевский Д.М., Кувшинова Е.В. Спонтанное нарушение калибровочной симметрии в метриках типа III и VIII по Бьянки // Изв. вузов. Физика. – 2019. – Т.62, №1. – С.42 – 46.
7. Panov V.F., Sandakova O.V., Yanishevsky D.M. Evolution of the Universe with two rotating fluids // International Journal of Modern Physics A, 2020, T. 35, № 2 & 3. – С. 2040042.

ЯНИШЕВСКИЙ Даниил Михайлович

Космологические модели с вращением и с тёмной энергией

В рамках общей теории относительности построены однородные анизотропные космологические модели с вращением. Используются метрики II, V, VIII типа по Бьянки, при этом источниками гравитации являются анизотропная жидкость и идеальная пылевидная жидкость, анизотропная жидкость с вакуумоподобным уравнением состояния и поле излучения, жидкость с уравнением состояния газа Чаплыгина, а также скалярное поле.

Исследовано спонтанное нарушение калибровочной симметрии, найдены энергии устойчивых состояний.

Изучено явление квантового рождения вселенной с метрикой VIII типа по Бьянки, оценена вероятность рождения. Построены космологические сценарии с метриками II, VIII и IX типов по Бьянки. Установлено, что во всех трёх сценариях космологическая эволюция охватывает фридмановские стадии с переходом к ускоренному расширению, а изначально анизотропная жидкость(тёмная энергия) асимптотически изотропизируется и её вращение замедляется.

YANISHEVSKY Daniil Mikhailovich

Cosmological models with rotation and with dark energy

Homogeneous anisotropic cosmological models have been built within the General theory of relativity. Bianchi type II, V, VIII metrics have been used, the sources of gravitation being an anisotropic liquid and a perfect dust-like liquid, an anisotropic liquid with the vacuum-like equation of state and radiation field, a liquid with Chaplygin gas equation of state and a scalar field.

Spontaneous gauge symmetry breaking of a complex scalar field has been investigated, energies of stable states have been found.

Quantum birth of a universe has been explored, probability of the birth has been estimated. Some cosmological scenarios with Bianchi type II, VIII and IX metrics have been built. It has been found that cosmological evolution comprises friedmannian stages with transition to accelerated expansion within all the scenarios and an initially anisotropic liquid(dark energy) gets isotropic asymptotically, whereas its rotation slows down.