

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
АСТРОКОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

На правах рукописи

УДК 524.852, 524.882

Строков Владимир Николаевич

**Квантовая модель квазифридмановской Вселенной и
сферически симметричные
источники гравитационного поля**

Специальность 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 2011

Работа выполнена в Астрокосмическом центре Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

Научный руководитель:

д-р физ.-мат. наук, проф. Лукаш Владимир Николаевич,
АКЦ ФИАН

Официальные оппоненты:

д-р физ.-мат. наук, чл.-кор. Волович Игорь Васильевич, МИАН
канд. физ.-мат. наук Зельников Максим Иванович, ОТФ ФИАН

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук Институт ядерных исследований РАН, г. Москва

Защита состоится “25” апреля 2011 года в 14-30 часов на заседании диссертационного совета Д002.023.01 Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) в конференц-зале Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) по адресу: г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, ИКИ РАН, подъезд 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФИАН по адресу: г. Москва, Ленинский проспект, д. 53, с авторефератом диссертации – на сайте <http://www.asc-lebedev.ru>

Отзывы направлять по адресу: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53, ФИАН (АКЦ), диссертационный совет Д002.023.01.

Автореферат разослан “25” марта 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р физ.-мат. наук

Ю.А. Ковалев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Квантовая теория гравитации до сих пор остается Святым Граалем теоретической физики. Естественно ожидать, что она должна проявлять себя там, где в нынешней неполной теории гравитации встречаются физически абсурдные решения, такие как сингулярность Большого взрыва и сингулярности различных классов черных дыр. Здесь можно провести аналогию с классической гидродинамикой, которая без учета вязкости дает бесконечную плотность на фронте ударной волны (см., например, Ландау и Лифшиц 1986). Другими словами, физически некорректные решения являются свидетельством того, что при тех условиях, при которых они были получены, играют роль эффекты более полной теории. В данном диссертационном исследовании предлагаются некоторые способы учесть квантово-гравитационные эффекты как вблизи сингулярности Большого взрыва (ранняя Вселенная), так и в околосингулярном состоянии внутри черной/белой дыры Шварцшильда.

С самого начала, однако, представляется необходимым сделать следующее замечание. Вообще говоря, характерные планковские величины (Зельдович и Новиков 1975), сконструированные из трех фундаментальных постоянных (скорости света c , гравитационной постоянной G и постоянной Планка \hbar) и равные в численном выражении $l_{Pl} \sim 10^{-33}$ см (планковская длина), $t_{Pl} \sim 10^{-43}$ с (планковское время) и $m_{Pl} \sim 10^{19}$ ГэВ (планковская масса), дают лишь верхнюю оценку на применимость общепринятой теории гравитации. Дело в том, что энергия, которую достиг прямой эксперимент, составляет всего около 10 ТэВ (CERN 2011), что на 15 порядков меньше планковской величины. Другими словами, поправки к известным физическим законам могут возникать и при энергиях, меньших, чем планковская. Но при подходе к планковским масштабам такое нарушение должно иметь место почти наверняка, поэтому мы в дальнейшем будем интересоваться именно влиянием квантовых эффектов. (Интересно отметить, что есть теоретические указания на то, что лоренц-инвариантность в нашем мире должна сохраняться вплоть до запланковских масштабов (Воловик 2000)).

Итак, в **первой части работы** впервые проведено каноническое квантование квазифридмановской (слабонеоднородной) Вселенной. Однородная Вселенная исследовалась Деви́ттом (DeWitt 1967). Кратко напомним

его подход. Метрика замкнутой¹ однородной и изотропной Вселенной имеет вид:

$$ds^2 = N^2(t)dt^2 - a^2(t)dl_3^2, \quad (1)$$

где t – мировое время, определенное с точностью до функции хода N (Мизнер и др. 1972), в случае однородной Вселенной не зависящей от пространственных координат, dl_3^2 – элемент длины поверхности единичной 3-мерной сферы и $a(t)$ – масштабный фактор. По метрике можно явно вычислить действие для однородной и изотропной Вселенной, в которое вносят вклад гравитация (действие Гильберта–Эйнштейна) и материя, представленная своим лагранжианом L_m :

$$S[a, N, m] = \frac{\pi}{4G} \int \left(8\pi G a^3 N L_m + 3aN - \frac{3a\dot{a}^2}{N} \right) dt, \quad (2)$$

где под m подразумевается набор материальных полей.

Поскольку метрические коэффициенты зависят только от времени, оказывается возможным выполнить интегрирование по пространству до конца, что и сделано в выражении (2). Таким образом, имеем перед собой динамическую систему с заданным лагранжианом

$$L[a, N, m] = \frac{\pi}{4G} \left(8\pi G a^3 N L_m + 3aN - \frac{3a\dot{a}^2}{N} \right), \quad (3)$$

а значит (Ландау и Лифшиц I 1988), вариацией по динамическим переменным можем получить уравнения движения. Варьируя по N и a и затем полагая $N = 1$, получаем хорошо известные (см., например, Зельдович и Новиков 1975) уравнения Фридмана для замкнутой Вселенной²:

$$3H^2 = 8\pi G \varepsilon^{(F)} - \frac{3}{a^2}, \quad (4)$$

$$3H^2 + 2\dot{H} + \frac{1}{a^2} + 8\pi G p^{(F)} = 0. \quad (5)$$

¹В оригинальной работе (DeWitt 1967) рассматривалась именно замкнутая Вселенная, однако предложенную им схему можно обобщить на Вселенную бесконечного объема. В последнем случае в ней всегда можно выделить достаточно большой, но конечный объем V .

²Строго говоря, вторая вариация дает комбинацию первого и второго уравнения Фридмана.

Здесь $H = \dot{a}/a$ – параметр Хаббла (точка – производная по t), а ε и p – соответственно плотность энергии и изотропное давление, определяемые по лагранжиану материи:

$$\varepsilon^{(F)} = -\frac{\delta(NL_m)}{\delta N},$$

$$p^{(F)} = \frac{1}{3a^2} \frac{\delta(a^3 L_m)}{\delta a}.$$

Заметим также, что канонический гамильтониан \mathcal{H}^c , соответствующий лагранжиану (3), выражается через одну из вариаций этого лагранжиана:

$$\mathcal{H}^c = -N \frac{\delta L}{\delta N} \equiv N \bar{\mathcal{H}}^c, \quad (6)$$

где $\bar{\mathcal{H}}^c$ зависит только от динамических переменных a, m и канонически сопряженных им импульсов (множитель $\pi/4G$ опускаем)

$$\pi_a = \frac{\partial L}{\partial \dot{a}} = -\frac{6a\dot{a}}{N}, \quad \pi_m = 8\pi G a^3 N \frac{\partial L_m}{\partial \dot{m}}, \quad (7)$$

но не зависит от N . Импульс π_N , сопряженный самой переменной N , как легко видеть, тождественно равен нулю.

В квантовом случае первое уравнение Фрийдмана $\bar{\mathcal{H}}^c = 0$ и условие равенства нулю импульса π_N дают уравнения на волновую функцию Вселенной $\Psi(a, N, m)$ (см. DeWitt 1967, Halliwell 1991):

$$\left(\bar{\mathcal{H}}_m^c - 3a - \frac{\pi_a^2}{12a} \right) \Psi = 0, \quad \pi_N \Psi = 0, \quad (8)$$

где $\bar{\mathcal{H}}_m^c$ – гамильтониан материальных степеней свободы. Первое из этих уравнений носит имена Уилера и Девитта и является центральным уравнением квантовой космологии. В этих уравнениях динамические переменные и сопряженные им импульсы уже являются операторами. Например, в координатном представлении

$$\pi_a = -i\hbar\partial/\partial a, \quad \pi_m = -i\hbar\partial/\partial m, \quad \pi_N = -i\hbar\partial/\partial N.$$

Скажем, тот факт, что импульс, сопряженный N , равен нулю, означает с квантовой точки зрения, что волновая функция Вселенной не зависит от

N . Физически это вполне понятно: на классическом уровне N определена с точностью до произвольной функции времени.

Заметим, однако, что описанный подход не совсем последователен, поскольку в нем изначально ставятся классические ограничения на метрические функции. В частности, недиагональные компоненты метрики³ $g_{0i} = 0$. При квантовании эти компоненты также могут получать квантовые поправки.

Помимо квантовой теории однородной и изотропной Вселенной была также построена квазиклассическая теория слабонеоднородной Вселенной. Однородный и изотропный фон в ней считался классическим, а возмущения, будь то тензорные (Грицук 1974) или скалярные (Лукаш 1980), квантовыми. Тензорная мода (T , первичные гравитационные волны) сама по себе возникает только в первом порядке теории возмущений. Векторные возмущения (V), будучи конформно инвариантными (проще говоря, подчиняясь закону сохранения момента импульса), в процессе расширения Вселенной не рождаются. Нет и наблюдательных оснований в пользу их существования (Nolta et al. 2008). Поэтому в данном исследовании нас будет интересовать прежде всего скалярная мода.

В настоящей диссертации построена квантовая теория квазифридмановской геометрии, а именно, получено действие для слабонеоднородной Вселенной (из которого выведены также обобщенные уравнения Фридмана), получены лагранжиан модели, канонические импульсы, гамильтониан и произведено квантование. Таким образом, квантовая модель фридмановского фона объединена с квазиклассической теорией возмущений. В частности, действие выглядит следующим образом:

$$S[\mathbf{a}, N, V^i, \phi] = \int \mathbf{a}^3 dt d\vec{y} \left(NL_m[\phi] + \frac{(\nabla \mathbf{a})^2}{\mathbf{a}^4} + \frac{2\nabla N \nabla \mathbf{a}}{\mathbf{a}^3} - \frac{3\mathcal{H}^2}{N} + \frac{2\mathcal{H}(\mathbf{a}^3 V^i)_{,i}}{N\mathbf{a}^3} \right), \quad (9)$$

где \mathbf{a} – неоднородный масштабный фактор (Лукаш и Михеева 2010), являющийся скаляром в классе малых калибровочных преобразований ($\mathcal{H} \equiv \dot{\mathbf{a}}/\mathbf{a}$), N и V^i – соответственно функции хода и сдвига в лагранжево-эйлеровой системе отсчета (N является скаляром во всех сопутствующих системах отсчета), а $L_m[\phi]$ – лагранжева плотность материальных полей.

Во второй части исследуется природа сингулярного источника геометрии Шварцшильда. В ньютоновской теории тяготения источником гра-

³Здесь и далее латинские индексы означают пространственные компоненты, а греческие пробегают значения (0, 1, 2, 3).

витационного поля является масса (Ландау и Лифшиц 1988). В общей теории относительности ответ не столь однозначен, поскольку уравнения Эйнштейна нелинейны по метрическим переменным. Образно говоря, гравитационное поле само гравитирует и не исключены решения типа солитонов (например, “геоны” Уилера 1973).

Можно, в частности, задаться вопросом, а *каков материальный источник максимально продолженной метрики Шварцшильда (так называемой “вечной” черной/белой дыры)?* Есть ли в ОТО, по аналогии с ньютоновской гравитацией, необходимость в центральном источнике искривленной метрики в пустоте, свойства которого находятся вычислением правой части уравнений Эйнштейна ⁴?

Эта задача обсуждалась в литературе (Ландау и Лифшиц 1988, Wald 1984, Новиков и Фролов 1986), однако мнения разнятся, и проблема до сих пор не решена. В частности, Балазин и Нахбагауэр (Balasin and Nachbagaueer 1993) подошли к вопросу с формальной математической стороны, используя для вычисления правой части технику интегрирования тензорных дифференциальных n -форм. Поскольку в результате – после применения разных процедур регуляризации – получаются сингулярные функционалы (3-мерные дельта-функции), возникает проблема фиксации пространства, на котором они определены. По сути, в работе (Balasin and Nachbagaueer 1993) применена биметрическая формулировка ОТО (искривленная метрика Шварцшильда с помощью тетрады $\{e_\mu^a\}$ представляется через метрику Минковского $g_{\mu\nu} = e_\mu^a e_\nu^b \eta_{ab}$, в которой авторы и определяют вышеупомянутые дельта-функции), предполагающая существование *плоского* глобального многообразия, в том числе и в самой сингулярности $r = 0$, что вызывает вопросы и с чем нам трудно согласиться.

Очевидно, сам вопрос об источнике максимально продолженной метрики Шварцшильда в ОТО возникает в связи с наличием особых пространственноподобных гиперповерхностей $r = 0$, лежащих целиком в T -областях и являющихся неотъемлемым свойством любых черных/белых дыр. По этой причине мы не можем считать удовлетворительными “кардинальные решения”, которые либо исключают из рассмотрения сами T -области (например, мосты Эйнштейна–Розена (Poplawski 2010), кротовые

⁴Напомним, что в ньютоновской физике сферически симметричное гравитационное поле в пустоте имеет вид $\Phi = -GM/r$, где $r = |\mathbf{x}|$. Вычисляя правую часть уравнения Пуассона в евклидовом пространстве \mathbb{R}^3 , находим, что источником этого поля является центральная масса $M = const$, локализованная в точке $r = 0$: $\Delta\Phi = 4\pi GM\delta^{(3)}(\mathbf{x})$, где $\delta^{(3)}(\mathbf{x})$ – 3-мерная дельта-функция, G – гравитационная постоянная.

норы (Бронников и Старобинский 2007)), либо модифицируют их с помощью *специальных ограничений* свойств гравитации или материи. Таковыми примерами являются требования конечности максимальных значений кривизны (Markov 1982, 1984, Frolov et al. 1990) или плотности материи (Dymnikova 2003), введение гравитационного кручения и другие варианты модификаций гравитации. В работах Дымниковой построены несингулярные решения с асимптотикой черных/белых дыр при больших r , заполненные анизотропной “вакуумноподобной” в продольном направлении средой, с наложенным условием ее конечной плотности (см. (Dymnikova 2003) и ссылки там же). Эти решения содержат как минимум *две* R -области, внешнюю и внутреннюю (в последней находится центр $r = 0$), разделенных T -областью, что в принципе отличает их топологию от шварцшильдовской геометрии. Такие варианты решений с жестким ограничением плотности или кривизны нас также не могут устроить из-за отсутствия предельного перехода к T -областям черных/белых дыр.

Сингулярности черных/белых дыр, к которым приводят решения ОТО в пустоте, свидетельствуют о неполноте нашего понимания того, как устроена гравитация и как она взаимодействует с материей. Возникающая в теории особенность является, как правило, следствием пренебрежения какими-либо физическими факторами, т.е. следствием идеализации. Известные с 60-х годов теоремы о сингулярностях, через которые нельзя продлить мировые линии пробных частиц из-за расходящихся приливных сил, опираются на априорные требования к материи – энергодоминантность, сильное и слабое энергетические условия (Hawking and Penrose 1996). Однако первые два из них не выполняются в квантово-гравитационных процессах и, значит, исходные предположения теорем нарушены. Современный анализ показывает, что не существует ни наблюдательных, ни теоретических оснований в пользу неизбежности сингулярных состояний.

В данной работе предложен новый метод исследования более реалистичных моделей черных/белых дыр со *сглаженными* метрическими особенностями, что позволяет ограничить приливные силы (несмотря на возможную расходимость некоторых компонент кривизны) и восстановить геодезически полное пространство-время на основе динамических моделей, опирающихся лишь на общие физические принципы – *сохранение энергии-импульса*, широкий выбор уравнения состояния, выполнение слабого энергетического условия. Такой подход дает основания пользоваться динамическими уравнениями типа эйнштейновских $G_{\nu}^{\mu} = 8\pi GT_{\nu}^{\mu}$, где все геометрические модификации, возникающие при больших энергиях

или кривизнах, перенесены в правую часть и включены в *эффективный* тензор натяжений T_{ν}^{μ} , содержащий по этой причине как материальные, так и часть пространственно-временных степеней свободы (см., например, (Sahni and Starobinsky 2006)). Исходным геометрическим объектом является средний метрический тензор $g_{\mu\nu}$, с помощью которого по законам ОТО строится левая часть уравнений.

Целью работы являлось, во-первых, получение гравитационного действия слабонеоднородной Вселенной в непертурбативной форме, т.е. в терминах геометрических переменных, описывающих структуру пространства–времени. Во-вторых, построение квантовой модели слабонеоднородной Вселенной. И в-третьих, выяснение вопроса об источнике гравитационного поля черной/белой дыры Шварцшильда и построение несингулярных сферически симметричных геометрий с геодезически полным пространством–временем.

Научная новизна работы. Все основные научные результаты, вынесенные на защиту, являются новыми.

В терминах геометрических (инвариантных) переменных, описывающих слабонеоднородную Вселенную, впервые получен непертурбативный вид действия, а также следующие из него неоднородные уравнения Фрийдмана.

Путем канонического квантования впервые выведено уравнение на волновой функционал слабонеоднородной Вселенной, свободное от классических ограничений на метрические функции, которые предполагались в квантовой модели вселенной Фрийдмана.

Показано, что в рамках классической ОТО источником метрики Шварцшильда, полученной как предел в семействе метрик с протяженным источником со степенным распределением, является ненулевой эффективный тензор энергии–импульса материи с дельтаобразным распределением.

Построена модель триггерного фазового перехода под горизонтом черной/белой дыры с интегрируемой сингулярностью, позволяющей распространять геодезические на все пространство–время.

Научная и практическая ценность работы. Построенная квантовая модель слабонеоднородной Вселенной в терминах геометрических переменных, объединяющих в себе фон и возмущения, является первым шагом на пути к законченной теории ранней Вселенной. Дело в том, что язык теории возмущений позволяет описать структуру пространства–времени лишь с ограниченной точностью, причем уже во втором порядке по воз-

мущениям вычисления заметно усложняются. Поэтому уже сегодня ясно, что полная теория ранней Вселенной должна формулироваться в терминах геометрических переменных без разбиения на фон и возмущения. Ведь, например, материальные переменные (скажем, амплитуда скалярного поля) с самого начала являются инвариантами и не требуют подобного разбиения. Далее, геометрические переменные дают возможность само согласованно проквантовать сразу всю геометрию, объединив тем самым квантовую модель космологического фона ДеВитта (DeWitt 1967) и квазиклассическую теорию, развитую в работах Грищука (Грищук 1974) и Лукаша (Лукаш 1980). В дальнейшем построенная квантовая модель позволит сделать оценку роли квантовых эффектов в ранней Вселенной, а также детально исследовать переход в квазиклассическую область.

Вторая задача, обсуждаемая в диссертации, позволяет прояснить физическую природу сингулярности, возникающей при решении классических уравнений Эйнштейна (см., например, (Ландау и Лифшиц 1988)). Концепция триггерных фазовых переходов приводит к интересному типу сингулярности, вблизи которой приливные силы остаются конечными, хотя некоторые геометрические инварианты расходятся. Благодаря этому свойству через данную сингулярность можно продолжать геодезические и строить геодезически полные пространства–времена в отличие пространства–времени черной дыры Шварцшильда.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. В терминах геометрических (инвариантных) переменных, описывающих слабонеоднородную Вселенную, впервые получен непертурбативный вид действия, а также следующие из него неоднородные уравнения Фридмана.
2. Проведено каноническое квантование рассмотренной модели и выведено уравнение на волновой функционал слабонеоднородной Вселенной.
3. Показано, что в рамках классической ОТО источником метрики Шварцшильда, полученной как предел в семействе метрик с протяженным источником со степенным распределением, является ненулевой эффективный тензор энергии-импульса материи с дельтаобразным распределением.
4. Построена модель триггерного фазового перехода под горизонтом черной/белой дыры с интегрируемой сингулярностью, позволяющей распространять геодезические на все пространство–время.

Апробация результатов. Результаты, изложенные в диссертации, докладывались автором на семинарах теоретического отдела АКЦ ФИАН, общем семинаре АКЦ ФИАН, астрофизическом семинаре ОТФ ФИАН, аспирантском семинаре ФИАН, на семинарах исследовательских центров Бразилии ICRA–CBPF, UFES и UFJF, на российских и международных конференциях. В число конференций, на которых докладывались, обсуждались и в чьих трудах были опубликованы результаты диссертации, входят следующие:

1. Conference "The Century of Cosmology", Венеция (Италия) (2007).
2. Российская школа-семинар по современным проблемам гравитации и космологии "GRACOS-2007", Казань-Яльчик (Россия) (2007).
3. Всероссийская астрономическая конференция "Космические рубежи XXI века", Казань (Россия) (2007).
4. Международная конференция "Проблемы практической космологии", Санкт-Петербург (Россия) (2008).

5. Summer School in Cosmology, Trieste (Italy) (2008).
6. 24th TEXAS Symposium on Relativistic Astrophysics, Vancouver (Canada) (2008).
7. Marcel Grossmann Meeting, Paris (France) (2009).
8. 16th International Seminar on High Energy Physics "Quarks-2010", Kholmna (Russia) (2010).
9. International Conference "Modern Problems of Gravitation, Cosmology and Relativistic Astrophysics"(RUDN-10), Moscow (Russia) (2010).
10. Ежегодные научные сессии АКЦ ФИАН, Пущино (2007, 2008, 2009, 2010).

Список публикаций. Результаты автора по теме диссертации опубликованы в научных журналах и в материалах всероссийских и международных конференций. Общее число публикаций: 6, в том числе 1 – в рецензируемом российском журнале из списка ВАК, 5 – в сборниках трудов и тезисах всероссийских и международных конференций и в 2 препринтах.

- [1]. **В.Н. Строков**, "О лагранжевой теории космологических возмущений плотности", *Астрон. Журн.*, **84**, 6, стр. 483 (2007)
- [2]. **Strokov V.N.**, Equivalence of two approaches in theory of cosmological density perturbations, *Proceedings of the conference A Century of Cosmology*, ed. G. Chincarini, P. Saracco and M. Bolzonella, Societa Italiana di Fisica, p. 1399 (2008).
- [3]. Лукаш В.Н., Михеева Е.В., **Строков В.Н.**, "История образования структуры во Вселенной", *Квантовая теория и космология*. Сборник статей по материалам конференции, посвященной 70-летию профессора А.А. Гриба. Под редакцией В.Ю. Дорофеева и Ю.В. Павлова, Лаборатория им. А.А. Фридмана, стр. 117-131 (2009).
- [4]. **В.Н. Строков**, "Квантовая модель квазифридмановской Вселенной", препринт ФИАН № 7 (2011);
Strokov V.N., ADM Formulation of the Cosmological Perturbation Theory, *Proceedings of the Twelfth Marcel Grossmann Meeting on General*

Relativity, ed. Thibault Damour, Robert T Jantzen and Remo Ruffini, World Scientific, Singapore (2010);

Strokov V.N., Non-perturbative Formulation of the Cosmological Perturbation Theory, *Proceedings of the 16th International Seminar on High Energy Physics "Quarks-2010"*, в печати.

[5]. **Строков В.Н.**, Лукаш В.Н., "Непертурбативная формулировка теории космологических возмущений", Тезисы международной конференции "Современные проблемы гравитации, космологии и релятивистской астрофизики RUDN-10"(2010)

[6]. В.Н. Лукаш, **В.Н. Строков**, "Источники геометрий с интегрируемой сингулярностью: черные/белые дыры и астрогенные Вселенные", препринт ФИАН № 3 (2011);

В.Н. Лукаш, **В.Н. Строков**, "Источники геометрий с интегрируемой сингулярностью: черные/белые дыры и астрогенные Вселенные", Письма в ЖЭТФ, в печати

Личный вклад автора. Опубликованная работа из списка публикаций и один из препринтов выполнены автором единолично. Во втором препринте автору принадлежит доказательство дельтаобразного профиля источника черной/белой дыры, доказательство конечности приливных сил вблизи особой гиперповерхности $r = 0$, а также численная оценка момента времени r_0 , при котором может начаться фазовый переход под горизонтом черной дыры.

Структура диссертации. Диссертация состоит из Введения, двух Глав, Заключение и четырех Приложений. Общий объем составляет 56 страниц, включая 1 рисунок и библиографию из 39 наименований.

Содержание работы

Во **Введении** обосновывается актуальность работы, перечисляются цели и задачи проведенного исследования. Уточняются новые элементы, отличающие данное исследование от других работ, обсуждается научная и практическая значимость диссертации. Формулируются положения, выносимые на защиту, приводится список публикаций, в которых изложены

результаты исследования, рассказывается о проведенной апробации результатов. Также описывается структура диссертации и кратко излагается содержание ее основных разделов.

В **Главе 1** исследуются свойства квазифридмановской (слабонеоднородной) геометрии. Приводятся геометрические переменные и с их помощью впервые выводится действие для слабонеоднородной Вселенной и производится каноническое квантование модели.

Первые два подраздела носят подготовительный характер. В них, следуя работе (Лукаш и Михеева 2010), вводятся геометрические переменные, включающие оба порядка теории возмущений (нулевой + первый), и выводятся неоднородные уравнения Фрийдмана путем прямого суммирования фоновых уравнений и уравнений для возмущений. Далее, в разделе **1.3** впервые получено действие в терминах геометрических переменных и на этот раз из него выведены неоднородные уравнения Фрийдмана. В разделе **1.4** пояснена известная в теории поля схема квантования полей. В разделе **1.5** произведено каноническое квантование модели и представлены выводы по данной задаче.

Глава 2 посвящена задаче об источнике сферически симметричных пространств, имеющих своим пределом геометрию Шварцшильда.

В разделе **2.1** представлена общая теория расщеплений $2 + 2$ в применении к сферически симметричным геометриям, выписаны действие, уравнения, определены свойства материального источника и доказана его необходимость для метрики Шварцшильда. В разделе **2.2** очерчен класс рассматриваемых далее моделей. В разделах **2.3** и **2.4** рассмотрены примеры геодезически полных пространств-времени для состояний вечных белых/черных дыр и дана классификация простейших решений. В разделе **2.5** даны выводы по данной главе.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

В **Приложении 1** кратко изложен формализм Арновитта–Дезера–Мизнера.

В **Приложении 2** вычислено действие для слабонеоднородной Вселенной.

В **Приложении 3** вычислены пределы различных распределений при стремлении метрики к метрике черной дыры Шварцшильда.

В **Приложении 4** приведены компоненты тензора Римана и некоторые его инварианты для сферически симметричных метрик.

Список литературы

Боголюбов и Ширков (Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков), *Введение в теорию квантованных полей*, Москва: Наука, 1984.

Бронников и Старобинский (К.А. Бронников, А.А. Старобинский), Письма в ЖЭТФ **85**, 3 (2007).

Грищук (Л.П. Грищук), ЖЭТФ **67**, 825 (1974).

Зельдович и др. (Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков, А.А. Старобинский), Журн. эксп. и теор. физ. **66**, 1897 (1974).

Зельдович и Новиков (Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков), *Строение и эволюция Вселенной*, Москва: Наука, 1975.

Ландау и Лифшиц I (Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц), *Механика*, Москва: Наука, 1988.

Ландау и Лифшиц II (Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц), *Теория поля*, Москва: Наука, 1988.

Ландау и Лифшиц III (Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц), *Квантовая механика (нерелятивистская теория)*, Москва: Физматлит, 2002.

Ландау и Лифшиц VI (Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц), *Гидродинамика*, Москва: Наука, 1986.

Лукаш и Старобинский (В.Н. Лукаш, А.А. Старобинский), Журн. эксп. и теор. физ. **66**, 1515 (1974).

Лукаш (В.Н. Лукаш), ЖЭТФ **79**, 1601 (1980).

Лукаш и Михеева (В.Н. Лукаш, Е.В. Михеева), *Физическая космология*, Москва: Физматлит, 2010.

Лукаш и Рубаков (В.Н. Лукаш, В.А. Рубаков), УФН **178**, 301 (2008).

Лукаш и Строков (В.Н. Лукаш, В.Н. Строков), препринт ФИАН, № 3 (2011).

Лукаш и др. (В.Н. Лукаш, В.Н. Строков, Е.В. Михеева), в печати (2011).

Мизнер и др. (Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер), *Гравитация*, т. 2, Москва: Мир, 1977.

Мизнер и др. (Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер), *Гравитация*, т. 3, Москва: Мир, 1977.

Новиков и Фролов (И.Д. Новиков, В.П. Фролов), *Физика черных дыр*, Москва: Наука, 1986.

Пескин и Шредер (М. Пескин, Д. Шредер), *Введение в квантовую теорию поля*, Москва: РХД, 2001.

Полищук (Р.Ф. Полищук), *ДАН СССР* **209**, 76 (1973).

Горбунов и Рубаков (Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков), *Введение в теорию ранней Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория*, Москва: URSS, 2010.

Строков (В.Н. Строков), *Астрономический журнал* **84**, 483 (2007).

Balasin and Nachbagauer (H. Balasin and H. Nachbagauer), *Phys. Lett. B* **315**, 93 (1993).

CERN (CERN), *LHC The Guide, Frequently Asked Questions*, http://visits.web.cern.ch/visits/guides/tools/presentation/LHC_booklet-2.pdf, 2011

DeWitt (B.S. DeWitt) *Phys.Rev.*, **160**, 1113 (1967).

Dymnikova (I. Dymnikova), *Int. J. Mod. Phys. D* **12**, 1215 (2003).

Frolov et al. (V.P. Frolov, M.A. Markov and V.F. Mukhanov), *Phys. Rev. D* **41**, 3831 (1990).

Geroch et al. (R. Geroch, A. Held and R. Penrose), *J. Math. Phys.* **14**, 874 (1973).

Halliwel (J.J. Halliwel), *Introductory Lectures on Quantum Cosmology in: Proceedings of the Jerusalem Winter School on Quantum Cosmology and Baby Universes, edited by S.Coleman, J.B.Hartle, T.Piran and S.Weinberg* World Scientific: Singapore, 1991.

Hawking and Penrose (S. Hawking, R. Penrose), *The Nature of Space and Time*, Princeton: Princeton University Press, 1996.

Markov (M.A. Markov), JETP Lett. **36**, 265 (1982); Ann. Phys. (N.Y.) **155**, 333 (1984).

Nolta et al. (M.R. Nolta, J. Dunkley, R.S. Hill *et al.*), arXiv:0803.0593v1 (2008).

Poplawski (N.J. Poplawski), Phys. Lett. B **687**, 110 (2010).

Sahni and Starobinsky (V. Sahni and A.A. Starobinsky), Int. J. Mod. Phys. D **15**, 2105 (2006).

Strokov (V. Strokov), IDAQP **10**, 573 (2007).

Volovik (G.E. Volovik), Grav. Cosmol. Suppl. **6**, 187 (2000).

Wald (R.M. Wald), *General Relativity*, The University of Chicago Press: Chicago and London, 1984.

Wheeler (J.A. Wheeler), Phys. Rev., **97**, 511 (1955).