

На правах рукописи

Гробов Алексей Викторович

ЭФФЕКТЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ В ФИЗИКЕ
ЧАСТИЦ И КОСМОЛОГИИ

01.04.23 – «Физика высоких энергий»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Автор



Москва – 2015

Работа выполнена в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» (НИЯУ МИФИ).

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор Рубин Сергей Георгиевич

Официальные оппоненты:

Бронников Кирилл Александрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ВНИИМС, г. Москва

Ерошенко Юрий Николаевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института ядерных исследований РАН, г. Москва

Ведущая организация:

ФГАОУ высшего профессионального образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань

Защита состоится «6» апреля 2016 г. в 16 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.130.07 на базе НИЯУ МИФИ по адресу: 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31, тел. (499) 324-84-98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИЯУ МИФИ и на сайте НИЯУ МИФИ <http://ods.mephi.ru>.

Автореферат разослан « » 2016 г.

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью организации, по адресу НИЯУ МИФИ.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор



С. Е. Улин

Общая характеристика работы

Актуальность темы

В настоящий момент существуют десятки теоретических моделей, способных объяснить такие аспекты физики высоких энергий, как темная материя, инфляционная теория, бариосинтез, механизм Хиггса и др. Все отчетливее видна связь между космологическими процессами и физикой элементарных частиц. Теории с дополнительными компактными измерениями показали свою эффективность в объяснении ряда явлений, как в космологии, так и в физике элементарных частиц, таких как инфляция, барионная асимметрия, черные дыры и темная материя. В связи с этим, многомерная гравитация может стать одной из основ фундаментальной теоретической физики. Сегодня теории с дополнительными пространствами являются актуальным направлением исследований в теоретической физике.

Открытие ускоренного расширения Вселенной, прецизионные измерения характеристик космического микроволнового фона, косвенные подтверждения существования темной материи во Вселенной существенно подтолкнули развитие как наблюдательной, так и теоретической космологии. В свою очередь развитие коллайдерной техники привело к открытию большого количества новых частиц, что явилось блестящим подтверждением Стандартной Модели (СМ) физики частиц. Настоящим триумфом СМ стало открытие бозона Хиггса в экспериментах на LHC [1] в CERN.

Однако несмотря на успехи СМ в объяснении физики высоких энергий, существует ряд вопросов и проблем, которые не находят своего объяснения

в ее рамках. К открытым вопросам относятся, например, объяснение феномена барионной асимметрии, происхождение поля Хиггса, образование ранних квазаров. Модели, предложенные и разработанные в диссертации, базируются на идеях многомерной гравитации и позволяют продвинуться в понимании взаимосвязей астрофизических явлений и физики микромира.

Цель работы

Цель работы состоит в объяснении явлений космологии и физики элементарных частиц в рамках единой парадигмы существования дополнительных пространственных измерений:

- разработка механизма возникновения барионной асимметрии в процессе бариогенезиса;
- создание механизма рождения первичных черных дыр и привлечение их для объяснения скрытой массы Вселенной;
- поиск отклонений от предсказаний СМ в константах самодействия поля Хиггса, полученного из недиагональных элементов метрического тензора.

Научная новизна работы

1. Впервые показано, что релаксационные процессы метрики дополнительного пространства с топологией тора приводят к наблюдаемому избытку барионов. Тем самым построена модель бариосинтеза на основе идеи о существовании дополнительных пространств.
2. Впервые предсказаны отклонения величины константы самодействия

от СМ на древесном уровне в хиггсовском секторе, построенном в рамках модели, основанной на многомерной нелинейной гравитации. Это указывает на проверяемость построенной модели и возможность отличить ее от других.

3. Впервые предложен механизм образования первичных черных дыр в интервале масс $10^{-15} - 10^{10} M_{\odot}$; построена зависимость спектра первичных черных дыр от начального значения поля и D-мерной массы Планка в момент формирования современного горизонта (в начале инфляции, на 60-ом e-фолдинге).

Результаты, выносимые на защиту

1. Космологическая модель, позволяющая описать образование величины барионной асимметрии Вселенной, основанная на учете эволюции дополнительного пространства.
2. Объяснение происхождения скалярного поля, реализующего механизм Хиггса, в рамках концепции дополнительных пространственных измерений. Предсказание отклонений на древесном уровне в константах самодействия этого поля в отличие от поля Хиггса СМ.
3. Механизм образования первичных черных дыр в интервале масс $10^{-15} - 10^{10} M_{\odot}$, основанный на многомерном метрическом тензоре. Объяснение скрытой массы Вселенной.

Практическая значимость работы

Данная диссертация показывает, что предположение о существовании дополнительных пространственных измерений предоставляет широкие возможности для объяснения различных явлений и эффектов космологии и физики частиц, что указывает на необходимость продолжения развития этой области. Результаты могут быть использованы в дальнейших теоретических исследованиях и при построении реалистичных моделей, способных описать и дать количественные оценки эффектам в космологии и физике высоких энергий.

Вклад автора

Личный вклад автора состоит в:

- учете динамической эволюции дополнительного пространственного измерения; вычислении величины барионной плотности Вселенной, построение пространства параметров модели, при которых возможно существование наблюдаемой Вселенной;
- выборе дополнительного пространства с метрикой, позволяющей получить Лагранжиан скалярного поля, обладающего необходимыми свойствами, позволяющими реализовать механизм Хиггса;
- разработке механизма образования первичных черных дыр, численном получении спектров масс, анализе зависимости спектров от начальных условий;

- выполнении аналитических и численных расчетов, связанных с вычислением параметров потенциалов скалярных полей, динамики полей;
- написании основных публикаций по итогам проделанной работы.

Апробация работы

Результаты, выносимые на защиту, прошли апробацию на многих международных научных конференциях и семинарах и были опубликованы в рейтинговых рецензируемых российских и зарубежных научных журналах.

Основные результаты диссертационной работы были представлены на:

- Международной конференции "Физические интерпретации теории относительности г. Москва, Россия, 2013 г.
- Международной конференции RUDN-10 "Современные проблемы гравитации, космологии и релятивистской астрофизике г. Москва, Россия, 2010 г.
- Сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий г. Москва, Россия, 2012, 2013, 2014 гг.
- Курчатовской молодежной научной школе, г. Москва, Россия, 2011 г.
- III-й Российской летней школе по гравитации и космологии; Международном семинаре "Современные теоретические проблемы гравитации и космологии Казань-Яльчик, 2012 г, GRACOS-2012.
- 11-ой Баксанской молодежной школе экспериментальной и теоретической Физики БМШ ЭТФ, Россия, 2010 г.

- Международной конференция по гравитации, космологии и астрофизике RUSGRAV-14, г. Ульяновск, 2011 г.
- Конференции "Физика элементарных частиц и космология" ИЯИ РАН, г. Москва, 2014

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 2 в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из аннотации, введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 82 страницы, 11 рисунков и список литературы из 91 наименований.

Содержание работы

В диссертационной работе изучаются эффекты и наблюдательные проявления дополнительных пространств в рамках нелинейной по кривизне теории гравитации в физике высоких энергий.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель, выносимые на защиту результаты, отмечены практическое значение и новизна полученных результатов.

В главе 1 рассматривается космологическая модель, основанная на идее многомерной гравитации, способная описать образование барионной

асимметрии в ранней Вселенной.

Рассматривается $D = 8$ -мерное Риманово многообразие $V_8 = M_4 \times V_2 \times H_2$ с метрикой G . Метрика Фрийдмана-Робертсона-Уокера (ФРУ) с масштабным фактором $a(t)$ нашего 4-х мерного пространства M_4 обозначена как $g_{\mu\nu}(x)$, где x_μ - ($\mu = 1, 2, 3, 4$) это координаты. Подпространство V_2 с топологией $T_1 \times T_1$ обладает метрикой $G_{ab}^{(V)}$ и описывается координатами $y_a, a = 5, 6$ в интервале $0 \leq y_a < 2\pi$. Гиперболическое подпространство H_2 с радиусом r_d и координатами θ, ϕ играет вспомогательную роль. Интервал выбирается в виде:

$$ds^2 = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 - (r_c^2 + h_{ab})dy_a^2 + 2e_a dy_a d\theta - r_d^2 d\theta^2 - r_d^2 \sinh(\theta)^2 d\phi^2 \quad (1)$$

Выбираем следующую форму метрики $G_{ab}^{(V)} = G_{ab}^{(V,stat)} + h_{ab}(t, y_1, y_2)$. Постоянная часть $G_{ab}^{(V,stat)} = \text{diag}(r_c, r_c)$ является инвариантной относительно $SO(2)$ преобразований. Дополнительное пространство V_2 приобретает симметрию позднее, когда флуктуации $h_{ab}(t, y_1, y_2)$ распадаются на более легкие частицы. Восстановление симметрии нашей метрики приводит к сохранению барионного заряда.

Недиагональные компоненты метрики также важны в следующем рассмотрении. Компоненты метрики G_{a7} преобразуются по фундаментальному представлению группы $SO(2)$ (или $U(1)$). Мы полагаем, что соответствующий заряд $Q = Q_B$ является барионным, и, следовательно, поле $e_a \equiv G_{a7}$ может образовывать барионный конденсат. Его взаимодействия с кварками и лептонами будут кратко обсуждаться позже в том же ключе, как это было сделано в [2].

Как будет показано позже, барионная асимметрия имеет место если $h_{ab}(t, y_1, y_2) \neq h_{ab}(t, y_2, y_1)$. Мы выбираем простейшую форму - первое слагаемое в разложении Фурье $h_{ab}(t, y_1, y_2) = \delta_{ab}h(t) \cos(y_1)$, чтобы выполнить аналитические оценки. Компоненты G_{a7} предполагаются малыми, но важными. Все остальные компоненты метрики G также вносят вклад в эффективное низкоэнергетическое действие. Тем не менее мы будем их опускать, поскольку они не вносят вклада в формирование избытка барионов. Это значительно упрощает анализ, оставляя основную идею нетронутой.

Модель характеризуется нелинейным действием

$$S = \frac{m_D^{D-2}}{2} \int d^D X \sqrt{G} [R + cR^2]. \quad (2)$$

В действии присутствуют два параметра модели m_D и c , в то время как метрический тензор содержит другие две r_c и r_d .

После интегрирования по внутренним переменным (2) получаем эффективный лагранжиан

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{eff} = & \frac{1}{2}(\partial_t \chi)^2 - \frac{1}{2}m_\chi^2 \chi^2 + \partial_t \phi \partial_t \phi^* - m_\phi^2 \phi \phi^* \\ & - 2\lambda \chi^2 \phi^2 \phi^{*2} [\phi + \phi^*]^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\lambda = -c \cdot \lambda^* > 0$ и $c < 0$. Последнее слагаемое нарушает глобальную $U(1)$ симметрию и потому ответственно за асимметричный бариогенезис. В современную эпоху $\chi(t \rightarrow \infty) \rightarrow 0$ поэтому симметрия $U(1)$ восстановлена. Данная группа изоморфна группе $SO(2)$ - точной группе симметрии невозмущенной метрики G^V . Следовательно процессу симметризации до-

полнительного пространства V_2 сопутствует генерация барионного избытка.

Финальная форма эффективного действия

$$S_{r,\vartheta} = \int dt a^3(t) \left[\frac{1}{2}(\partial_t \chi)^2 - \frac{1}{2} m_\chi^2 \chi^2 + \frac{1}{2} \dot{r}^2 + \frac{1}{2} r^2 \dot{\vartheta}^2 - V(r, \vartheta, \chi) \right] \quad (4)$$

содержит потенциал $V(r, \vartheta, \chi) = \frac{m_\phi^2 r^2}{2} + \lambda \chi^2 r^6 \cos^2(\vartheta)$. Здесь поле ϕ представлено в виде $\phi(t) = r(t) e^{i\vartheta(t)} / \sqrt{2}$

Эффективный лагранжиан (3) аналогичен тому, что рассматривается в рамках модели Аффлека-Дайна [3]. важное отличие состоит в присутствии дополнительного поля χ . Бариосинтез заканчивается в тот момент, когда это поле достигает нуля.

Осцилляции поля ϑ ответственны за генерацию избытка барионов. Выражение для плотности барионов

$$n_B(t) = a(t)^{-3} \lambda \int_{t_{in}}^t a(t')^3 r(t')^6 \chi(t')^2 \sin(2\vartheta(t')) dt'. \quad (5)$$

Постоянная λ может быть представлена в виде $\lambda \approx -1.8 \cdot 10^{-9} \frac{c}{m_D^{18} r_c^8 r_d^8} \ln(m_D r_d)$.

Флуктуации метрики должны быть малы $h(t, y_1, y_2) \ll r_c^2$, $e_a \ll r_c^2, r_d^2$.

Соотношения, которые были упомянуты выше, ограничивают диапазон разрешенных значений параметров, что изображено на рис. 1. Можно видеть, что существует значительное пространство параметров внутри треугольника. Как правило они могут изменяться в пределах порядка по величине, так что в нашей модели нет тонкой настройки.

Барионный заряд, сохраненный в поле ϕ , должен быть передан полям

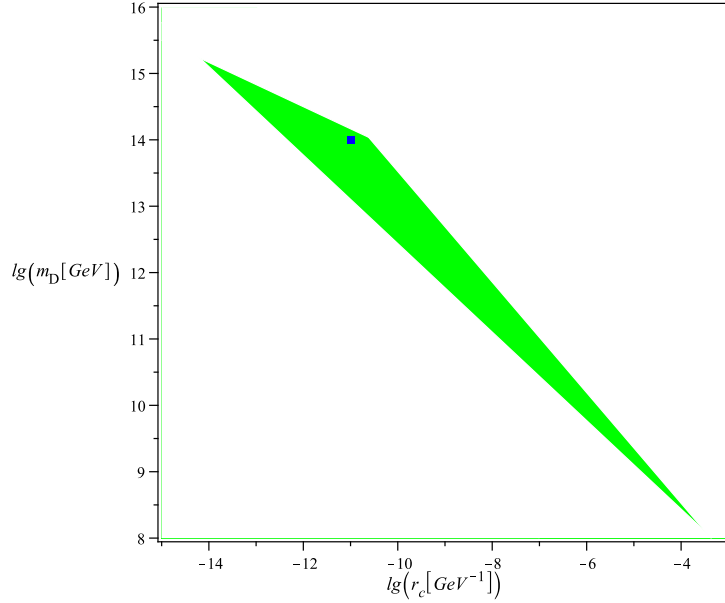


Рис. 1. Серый (зеленый) треугольник представляет пространство разрешенных параметров в терминах m_D и r_c . Параметры, использованные в тексте, обозначены маленьким квадратом.

материи. Как было показано в [4, 5], это может быть сделано с помощью взаимодействия в виде $L_{int} = g\phi\bar{Q}L + h.c.$, где Q - это волновая функция гипотетического тяжелого кварка, L - это волновая функция лептона, и g - это Юкавская константа связи. Если группы симметрий, обсуждаемые выше, являются локальными, то модель должна содержать калибровочные поля. Они ассоциируются с барионным/лептонным зарядом, что описывается в литературе, например [6]. В нашем случае калибровочные поля должны быть представлены недиагональными компонентами метрического тензора (1). Ненаблюдаемость барионный калибровочных полей может быть объяснена большой массой соответствующих частиц.

Среди множества проблем космологии существует две, которые объединены общей идеей – наблюдаемая барионная асимметрия Вселенной и

существование симметрий. В рамках многомерного подхода последнее тесно связано с соответствующими симметриями дополнительного пространства. Если пространство родилось со случайной геометрией, тогда должен присутствовать отрезок времени, в течение которого устанавливались симметрии. Это означает, что никакие заряды на данном этапе не сохранялись. На следующей стадии дополнительное пространство стабилизируется и приобретает некоторые симметрии, что ведет к сохранению заряда в современную эпоху. Картина, описанная выше, очень хорошо объясняет задачу об избытке барионов. Несохраниение барионного заряда приводит к избытку барионов в начале эволюции Вселенной. В настоящий момент дополнительное пространство предполагается стабильным и обладающим $U(1)$ симметрией, которая относится к сохранению барионного заряда.

Глава 2 посвящена реализации механизма Хиггса в рамках многомерной нелинейной гравитации. Подход основан на идее об универсальных дополнительных измерениях (UED), разработанной в пионерских работах [7], [8], [9], [10]. Дополнительные компоненты многомерного метрического тензора образуют скалярные и векторные поля в результате редукции к четырехмерному пространству-времени. Бозон Хиггса описывается набором недиагональных элементов метрического тензора и обладает нужными свойствами в низкоэнергетическом пределе. В отличие от [11], где форма хиггсо-подобного потенциала зависела от начальных условий эволюции метрики дополнительного пространства, что приводило к проблемам с нахождением связи между начальными параметрами и экспериментальными данными, в данной работе получена строгая связь между параметрами лагранжиана и начальными параметрами, такими как радиус

дополнительного пространства. Это позволяет не только получить общепринятую форму хиггсовского сектора, но также найти отклонения, которые в настоящее время становятся актуальными. Показано, что сравнение констант самодействия хиггсо-подобного поля с полем Хиггса СМ может дать важную информацию, когда светимость ЛНС будет увеличена. Поле Хиггса ассоциировано с некоторыми компонентами метрики дополнительного пространства, которое преобразуется по фундаментальному представлению группы $SU(2) \times U(1)$. Более конкретно рассмотрим $D = 10$ -мерное риманово многообразие $V_{10} = M_4 \times V_4 \times V_2$ с метрическим тензором в форме:

$$G_{AB} = \begin{pmatrix} g_{\mu\nu}(x) & & & \\ & G_{ab}^{(4)} & e_a(x) & \\ & e_b(x) & -r_d^2 & \\ & & & -r_d^2 \sin^2 \theta. \end{pmatrix} \quad (6)$$

здесь $\mu, \nu = 1, 2, 3, 4$. Подпространство V_4 с метрикой $G_{ab}^{(4)} = -r_c^2 \text{diag}(1, 1, 1, 1)$ описывается координатами $y_a, a = 5, 6, 7, 8$. Наше 4-х мерное пространство описывается координатами x и метрическим тензором $g_{\mu\nu}$. Второе подпространство V_2 имеет геометрию сферы с радиусом r_d . Компоненты $e_a \equiv g_{a9}$ преобразуются по фундаментальному представлению линейной группы координатных преобразований в V_4 . Начнем с нелинейной $F(R)$ теории в D -мерном пространстве. Модель характеризуется действием

$$S = \frac{m_D^{D-2}}{2} \int d^D X \sqrt{G} \cdot F(R) \quad (7)$$

где m_D - это D-мерная масса Планка, и $F(R) = R + cR^2 + bR^3 - 2\Lambda$ - гладкая функция скаляра Риччи. Конечная форма лагранжиана

$$L_H = \frac{1}{2}(\partial_\mu H)^\dagger(\partial_\mu H) - V(H^\dagger H), \quad (8)$$

$$V(H^\dagger H) = \frac{M^2}{2r_d^2} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2H^\dagger H}{M^2}}} \left(1 + \frac{c_1}{1 - \frac{2H^\dagger H}{M^2}} + \frac{c_2}{\left(1 - \frac{2H^\dagger H}{M^2}\right)^2} \right)^{-2} \\ \times \left[-2 \left(1 - \frac{2H^\dagger H}{M^2}\right)^{-1} - c_1 \left(1 - \frac{2H^\dagger H}{M^2}\right)^{-2} - \frac{2}{3}c_2 \left(1 - \frac{2H^\dagger H}{M^2}\right)^{-3} + 2\Lambda r_d^2 \right]$$

где $c_1 = 4 \cdot c \cdot r_d^{-2}$, $c_2 = 12 \cdot b \cdot r_d^{-4}$. Численное вычисление потенциала Хиггса представлено на рис. 2.

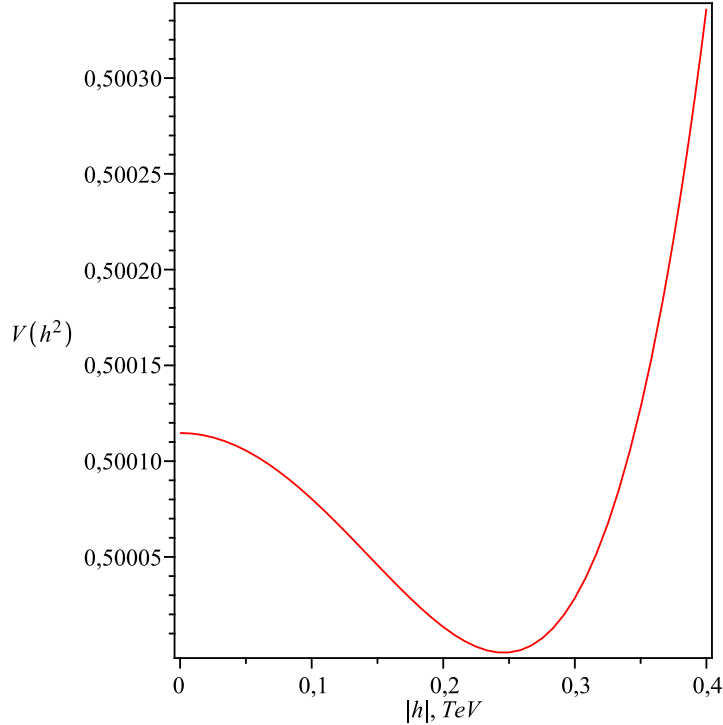


Рис. 2. Хиггсо-подобный потенциал. Значения параметров $r_c = r_d = 0.06$ ТэВ⁻¹, $m_D = 3.29$ ТэВ, $c_1 = 10061.94$, $c_2 = -6244.86$, $2\Lambda r_d^2 = 10100.03$

Сравним константы связи полученные в СМ на древесном уровне с теми же в данной модели. Здесь разложение хиггсо-подобного потенциала в ряд Тейлора имеет бесконечное число вершин

$$V(h^2) = V(\eta) + \frac{m_h^2}{2}\rho(x)^2 + \lambda_1\rho(x)^3 + \lambda_2\rho(x)^4 + \lambda_3\rho(x)^5 + \dots, \quad (9)$$

где $h = \eta + \rho(x)$. Численное вычисление констант связи λ_1, λ_2 и т.д. дает следующие значения $\lambda_1 = 0.0337, \lambda_2 = 0.0445, \lambda_3 = 0.0279, V(\eta) = 0.5$. Напомним, что $m_h = 125$ ГэВ и $\eta = 246$ ГэВ. Как было сказано выше, абсолютное значение потенциала не важно, так как гравитация не включается в рассмотрение. Тем не менее мы приводим это значение для полноты. Потенциал Хиггса в СМ имеет вид $U_{SM}(H) = \frac{m_h^2}{2}\rho(x)^2 + \lambda_1\rho(x)^3 + \lambda_2\rho(x)^4$, где численные значения констант связи $\lambda_1 = 0.0317, \lambda_2 = 0.0322, \lambda_{n>2} = 0$ связаны с массой Хиггса. Можно видеть, что соответствующие константы связи имеют разные значения. Ненулевое значение константы λ_3 представляет важное отличие между СМ и данной моделью. Изменение начальных параметров, как например размеров дополнительных пространств r_c и r_d , позволяет получить различные значения массы бозона Хиггса и соответствующее значение вакуумного среднего равного 246 ГэВ.

Основное отличие между данной моделью и СМ лежит в различии значений констант связи. Будущие измерения 3- и 4- вершинных констант связи могут прояснить ситуацию. Если константы связи отличаются от предсказываемых СМ, это может быть указанием на возможное существование дополнительного пространства.

Стандартная Модель является перенормируемой теорией, в частности

благодаря форме хиггсовского потенциала. Свойства и существование поля Хиггса Стандартной Модели постулируется с самого начала. Нашей целью было получить эти свойства, определяя поле как набор недиагональных компонент метрики дополнительного пространства. Хиггсо-подобный потенциал, полученный здесь, оказывается сложным, что делает эффективную теорию неперенормируемой. Однако это обычное явление, когда мы имеем дело с гравитацией. В общем, каждая теория поля становится «немного неперенормируемой», когда вовлекается взаимодействие с гравитацией. Основное отличие неперенормируемого характера Хиггсо-подобного лагранжиана состоит в ненулевом значении параметра λ_3 . Потому экспериментальный поиск 5-вершинного самодействия хиггсо-подобной частицы может быть очень важным, хотя и крайне сложным.

В главе 3 представлен механизм образования первичных черных дыр в диапазоне масс $10^{-15} - 10^{10} M_{\odot}$, который основан на квантовых флуктуациях скалярного поля. Сначала рассматривается способ подавления черных дыр промежуточных масс путем учета классического движения комплексного скалярного поля $\psi = \varphi \exp(i\theta)$ во время инфляции. Данное поле, дополнительное к инфлатонному, описывается двумерным потенциалом вида «мексиканская шляпа с наклоном», разложенным на два одномерных (радиальное движение поля к минимуму (седловой точке) и трансверсальное движение в «ложбине» шляпы) $V(\varphi) = \lambda(\varphi^2 - \frac{f^2}{2})^2$ и $V(\theta) = \Lambda^4(1 - \cos(\theta))$.

Во время инфляции пространство разделяется на множество причинно-несвязанных друг с другом областей (причинно-связанных внутри себя!), в которых, за счет квантовых флуктуаций, значение поля будет отличаться.

Когда в результате классического движения поле в некоторой простран-

ственной области подошло точке с $\theta = \pi$, часть причинно-связанных областей за счет квантовых флуктуаций оказывается по другую сторону потенциала со значением поля $\theta > \pi$. Наклон «мексиканской шляпы» обеспечивает быстрое движение поля от критической точки $\theta = \pi$ и, как следствие, прекращение переходов через нее (подавление рождения ЧД).

Известно [12], что в областях с фазой $\theta > \pi$ формируются замкнутые полевые стенки и, после их коллапса, черные дыры. Благодаря классическому движению, поле находится в области критической точки $\theta = \pi$ лишь несколько e -фолдов. Это означает, что квантовые флуктуации будут приводить к появлению ЧД лишь короткий промежуток времени, равный нескольким e -фолдам.

Флуктуации имеют место и при радиальном движении поля. Это приводит к изменению в спектре масс, что учитывалось при моделировании. В результате коллапса полевой стенки почти вся энергия такой замкнутой стенки может быть сконцентрирована в малом объеме внутри гравитационного радиуса, что является необходимым условием образования черной дыры.

Массы образующихся ЧД зависят от характерного размера стенки, который тем больше, чем раньше появилась пространственная область, окруженная данной стенкой. Используя численное моделирование, можно получить спектры масс ПЧД. В ходе дальнейшей эволюции эти спектры искажаются за счет, например, аккреции окружающего вещества. Так начальное значение поля $\varphi_{in} = 28H$, $\theta_{in} = 2.5$ приводит к спектру, представленному на рис. 3.

Далее в диссертации разработана модель реализации такого механизма

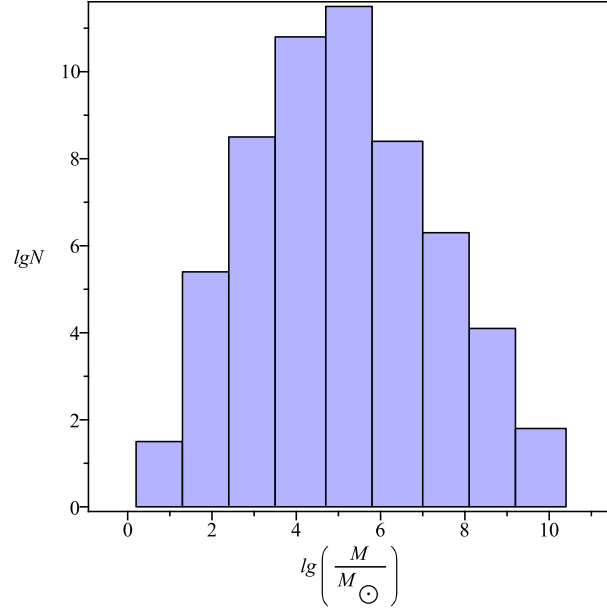


Рис. 3. Распределение сверхмассивных черных дыр (СМЧД) по массам с параметрами модели $\lambda = 0.005$, $\Lambda = 2.5H$, $f = 10H$, $\varphi_{in} = 28H$, $\theta_{in} = 2.5$

на основе многомерной гравитации, нелинейной по кривизне. Рассматривается $(D = 4 + d)$ -мерное многообразие с метрикой

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu + e^{2\beta(x)} b_{ab} dx^a dx^b, \quad (10)$$

где компоненты метрики дополнительного пространства b_{ab} не зависят от координат наблюдаемого пространства-времени x^μ . Лагранжиан в картине Эйнштейна принимает вид

$$L = \tilde{R}_4 + \frac{1}{2} K_{Ein} (\partial\phi)^2 - V_{Ein}(\phi), \quad (11)$$

где

$$K_{Ein} = \frac{1}{2\phi^2} \left(6\phi^2 \left[\frac{F''}{F'} \right]^2 - 2d\phi \frac{F''}{F'} + \frac{1}{2}d(d+2) \right) + \frac{2(c_1 + c_2)}{F'\phi}, \quad (12)$$

$$V_{Ein} = -\frac{\text{sign}(F')}{F'^2} \left[\frac{|\phi|m_D^{-2}}{d(d-1)} \right]^{\frac{d}{2}} \left(F(\phi) + c_V \frac{\phi^2}{d} \right), \quad c_V = c_1 + \frac{2c_2}{d-1} \quad (13)$$

и

$$F(\phi) = \phi + c\phi^2 + b_1\phi^3 + b_2\phi^4 - 2\Lambda, \quad (14)$$

b_1, b_2 - начальные параметры модели, d - это размерность дополнительного пространства, \tilde{R}_4 - скаляр Риччи, вычисленный в метрике $\tilde{g}_{\mu\nu}$ в картине Эйнштейна. На рис. 4 показан рассчитанный на основе изложенных соображений спектр масс первичных черных дыр в видимой Вселенной.

Такой подход может быть использован для объяснения скрытой массы Вселенной. Воспользуемся полученными результатами, но, чтобы упростить дальнейший анализ, рассмотрим кинетическое слагаемое в виде:

$$K(\phi) \approx \frac{c_5}{\phi^2}, \quad (15)$$

что верно при малых ϕ , c_5 - константа. Дифференциальный спектр, представленный на рис. 5, получен приближенно на базе численного решения.

Существуют строгие ограничения на ПЧД с массами порядка 10^{15} г, поэтому тот факт, что ПЧД с массами $< 10^{16}$ г не появляются при определенном выборе параметров, позволяет нам избежать ограничений, связанных с испарением ПЧД в момент нуклеосинтеза. Эти ограничения позволяют исключить решение, представленное штрих-пунктирной линией. Срав-

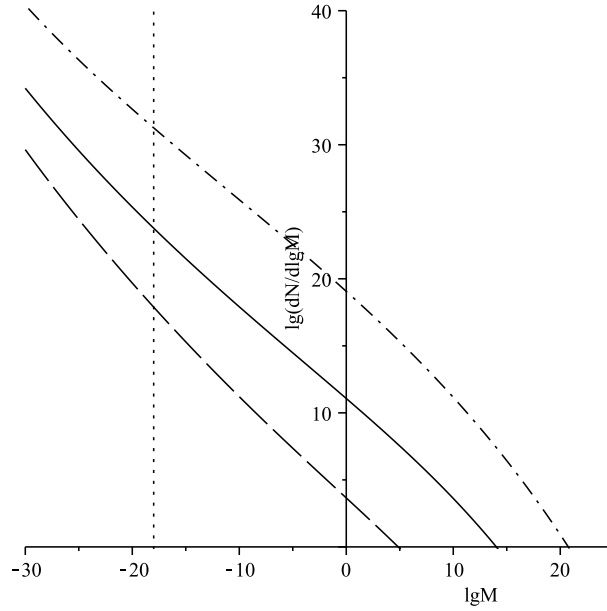


Рис. 4. Распределение ПЧД по массам для значений параметров: $c = 5.6 \cdot 10^{-6} H^{-2}$, $d = 2$, $b_1 = 5.85 \cdot 10^{-4} H^{-4}$, $b_2 = -3.5 \cdot 10^{-6} H^6$, $\nu[d] = 2.89 \cdot 10^{11}$, $m_D = 1.86H$, $c_1 = 4H^{-2}$, $c_V = -0.073H^{-2}$, $\Lambda = 5.2H^2$. Чтобы показать зависимость от начального значения поля, представлены распределения для трех различных значений ϕ_0 : $\phi_0 = 9.77H^2$ (сплошная линия), $\phi_0 = 10.5H^2$ (штриховая линия) и $\phi_0 = 9H^2$ (штрих-пунктирная линия). Вертикальная пунктирная линия отвечает значению $M = 10^{15}$ г – масса ЧД, которые полностью испарились за время жизни Вселенной.

нение сплошной и штриховой линии показывает сильную зависимость от начальных условий. Согласно концепции хаотической инфляции существует множество Вселенных с различными начальными условиями. В данном контексте это означает, что может существовать множество Вселенных с различным количеством ПЧД и мы живем в одной из них. Дифференциальный спектр представленный сплошной линией на рис. 5 характеризуется полной массой всех ПЧД $M_{total} \approx 2 \times 10^{22} M_{\odot}$, что может объяснить большую часть скрытой массы Вселенной.

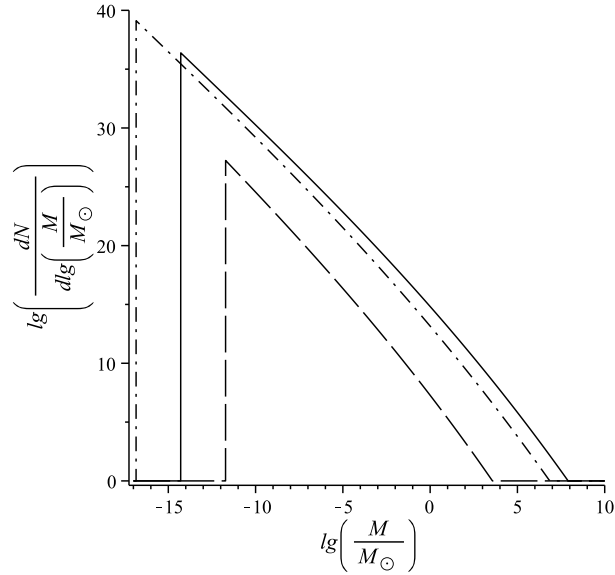


Рис. 5. Сплошная линия: спектр масс ПЧД для значений параметров: $c_5 = 8.9 \cdot 10^{12}$, $c = 5.6 \cdot 10^{-6} H^{-2}$, $d = 5$, $b_1 = 12.89 \cdot 10^{-6} H^{-4}$, $b_2 = -8 \cdot 10^{-8} H^6$, $c_1 = 2H^{-2}$, $c_V = -50H^{-2}$, $\Lambda = 0.0125H^2$, $\chi_0 = 1.069 \cdot 10^7 H$, $\nu[d] = 10^3$, $m_D = 4.4 \cdot 10^4 H$. Спектр ПЧД является очень чувствительным к изменению начальных условий, так что даже незначительное изменение χ (порядка $10^{-5} H$) может сильно изменить картину (штриховая и штрих-пунктирная линии).

В заключении перечислены основные результаты:

1. Построена модель бариогенезиса, способная естественным образом объяснить появление барионной асимметрии, как процесса, сопутствующего симметризации дополнительного пространства. Получено численное значение величины барионного числа в ранней Вселенной. Построено пространство параметров модели, при котором возможно образование наблюдаемой Вселенной.
2. В рамках многомерной гравитации исследовано происхождение поля Хиггса. Показано, что можно получить скалярное поле, обладающее

необходимыми свойствами, из недиагональных компонент метрического тензора 6-мерного дополнительного пространства. Изучена зависимость массы и параметров скалярного поля в зависимости от размеров дополнительного пространства и многомерной массы Планка. Предсказывается возможное отличие констант самодействия от стандартного поля Хиггса СМ.

3. Разработан механизм образования сверхмассивных ПЧД и ПЧД с широким спектром масс. Исследована зависимость спектра масс ПЧД от начальных условий. Представлена космологическая модель, в которой ПЧД могут объяснить значительную часть скрытой массы Вселенной.

Основное содержание диссертации было опубликовано в следующих работах

1. A. V. Grobov, S. G. Rubin, «Baryon number of the Universe as a result of extra space dynamics», Phys.Lett. B726 (2013);
2. A. V. Grobov, S. G. Rubin, «Higgs-Like Field and Extra Dimensions», International Journal of Theoretical Physics (2013) 52;
3. A. V. Grobov, S. G. Rubin, Shalamova, V. Yu., «Black Component of Dark Matter», Advances in High Energy Physics, vol. 2014, Article ID

319218, 6 pages, 2014;

4. K. M. Belotsky, A. D. Dmitriev, E. A. Esipova, V. A. Gani, A. V. Grobov, M. Yu. Khlopov, A. A. Kirillov, S. G. Rubin, I. V. Svadkovsky, «Signatures of primordial black hole dark matter», *Mod.Phys.Lett. A*29 (2014) 1440005;
5. A. V. Grobov, S. G. Rubin, D. A. Samarchenko, and E. D. Zhizhin, «A Mechanism of Supermassive Primordial Black Hole Formation», *Gravitation and Cosmology*, 2011, Vol. 17, No. 2, pp. 181–184;
6. А. В. Гробов, С. Г. Рубин, «Барионная асимметрия как результат асимметрии дополнительного пространства», *Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»*, 2012, Том 1, № 1, с. 31-34;
7. А. В. Гробов, С. Г. Рубин, И. В. Свадковский, В. Ю. Шаламова, «Механизм образования сверхмассивных первичных черных дыр», *Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»*, 2013, Том 2, № 2, с. 138-142
8. A. V. Grobov, S. G. Rubin, Shalamova, V. Yu., Svadkovsky, I. V., «Extra Dimensional Origin of Primordial Black Holes», *Quantum Matter*, Volume

3, Number 6, December 2014, pp. 529-532(4)

Список цитируемой литературы

1. Aad G. et al. [ATLAS Collaboration], Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC // Phys.Lett. 2012. Vol. B 716, pp. 1.
2. Bambi C., Dolgov A.D., Freese K., Baryogenesis from Gravitational Decay of TeV-Particles in Theories with Low Scale Gravity // JCAP. 2007. Vol. 0704. pp. 005.
3. Affleck I., Dine M., A new mechanism for baryogenesis// Nucl.Phys. 1985. Vol. B 249, pp. 361.
4. Dolgov A.D., Cosmological Matter-Antimatter asymmetry and Antimatter in the Universe // arXiv.org e-print archive, <http://arxiv.org/abs/hep-ph/0211260>, Accessed 19 July 2013.
5. Dolgov A.D., Freese K., Calculation of Particle Production by Nambu Goldstone Bosons with Application to Inflation Reheating and Baryogenesis// Phys.Rev.D. 1995. Vol.51. pp. 2693-2702.
6. Lebed R.F., Mayes V.E., Gauged Baryon and Lepton Number in $MSSM_4$ Brane Worlds// Phys.Rev.D. 2011. Vol.84, pp. 075016.
7. Appelquist T., Cheng H.-C., Dobrescu B.A., Bounds on universal extra dimensions// Phys.Rev.D. 2001. Vol. 64 (3), pp. 035002.
8. Appelquist T., Yee H., Universal extra dimensions and the Higgs boson mass// Phys.Rev.D. 2003. Vol. 67, 055002.
9. Dienes K.R., Dudas E., Gherghetta T., Extra spacetime dimensions and unification// Phys.Lett.B. 1998. Vol. 436, pp. 55.

10. Antoniadis I., A Possible New Dimension At A Few TeV// Phys.Lett.B. 1990. Vol. 246. pp. 377.
11. Bolokhov S.V., Bronnikov K.A., Rubin S.G., Extra dimensions as a source of the electroweak model// Phys.Rev.D. 2011. Vol. 84, pp. 044015.
12. Рубин С.Г., Макроскопические эффекты квантовых флуктуаций, М.:МИФИ. 2001.