

«УТВЕРЖДАЮ»

---

Врио директора ФИАН,  
член-корреспондент РАН  
Н.Н. Колачевский  
3 декабря 2020 г.

## ОТЗЫВ

Ведущей организации  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Физического института имени П.Н. Лебедева РАН  
на диссертацию Фиткевича Максима Дмитриевича  
«Двумерная дилатонная гравитация с динамической границей»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук  
по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Данная диссертационная работа посвящена изучению фундаментальной проблемы современной квантовой теории поля и гравитации --- разрешению парадокса потери информации в процессе образования и квантового испарения черной дыры в эволюции коллапсирующей материи. Значимость и актуальность этой тематики в настоящее время лежит не только в области фундаментальной теории квантового гравитационного взаимодействия, но и начинает иметь прикладной характер в свете недавнего экспериментального обнаружения гравитационных волн, излучаемых бинарными системами черных дыр и звезд, а также прямыми наблюдениями проявления черных дыр в центрах галактик. С точки зрения фундаментальной теории, эта проблема имеет важнейшее значение в построении непротиворечивой квантовой гравитации и ее приложений в физике ранней и современной Вселенной.

Проблема потери информации в теории квантового испарения черных дыр очень сложна, поэтому ее изучение в настоящее время проводится на примере упрощенных моделей, которые позволяют использовать современные аналитические методы. Таким упрощением, в частности, является рассмотрение задач с низкой (двумерной) размерностью пространства-времени, которые претендуют на описание реалистических моделей динамики черных дыр в четырехмерном пространстве-времени, обладающих сферической симметрией. Именно такой подход используется автором диссертации, при этом главная новизна его подхода заключается в способе преодоления внутренних проблем известных двумерных моделей Каллана-Гиддингса-Харви-Строминджера (КГХС) и Руссо-Сасскинда-Торласиуса (РСТ). Этот способ основан на введении динамической границы, которая позволяет избавиться систему от областей с

большой константой взаимодействия (и тем самым обосновать применимость практически единственно доступного в настоящее время метода квазиклассического разложения), а также в некоторых случаях избавить динамику системы от известных в теории гравитации сингулярностей.

С использованием такого метода в Главе 1 разработана модель КГХС с динамической границей пространства-времени, обеспечивающей режим классического отражения в рассеянии коллапсирующей материи. Изучены классические решения, описывающие как образование чёрных дыр, так и полное отражение. Для последнего режима исследуются критические решения, описывающие полное отражение на пороге образования чёрных дыр. Показано существование бесконечного класса точных решений, для которых предложен конструктивный способ их построения. В Главе 2 исследуется модель РСТ с границей, решения которой описывают испаряющиеся чёрные дыры. Показано, что в рамках такой модели нельзя решить информационный парадокс, а остатки как конечная стадия испарения черной дыры не образуются. Очень важным и принципиально новым достижением автора в этой части работы был вывод поверхностных членов в квантовом действии модели, получаемых функциональным интегрированием конформной (вейлевской) аномалии. В Главе 3 применяется комплексный квазиклассический метод для нахождения решений, описывающих образование и испарение чёрных дыр, в модели КГХС с точечной массивной частицей в качестве материи. Вычислена соответствующая квазиклассическая амплитуда, которая экспоненциально подавлена при энергиях больших пороговой энергии образования чёрных дыр в модели КГХС с границей.

Все эти результаты получены на высоком математическом уровне, снабжены красивыми иллюстрациями и проинтерпретированы в ясных физических терминах. Хотя предлагаемый метод введения динамической границы и не позволяет пока фундаментально разрешить информационный парадокс, данное исследование предлагает существенное продвижение к его решению.

Наряду с безусловными достоинствами работы, стоит указать на некоторые ее недостатки, а также предложить некоторые дальнейшие пути развития этой тематики в дальнейшей работе автора. Первое замечание касается вывода краевых условий (1.31), данного в Приложении А.1.3. Хотя правильность этих условий не вызывает сомнения, их вывод в ковариантном виде (или в фиксированной калибровке) заслуживает большей ясности. Хочется большей конкретности в утверждении об отсутствии интегрируемости уравнений движения в первой главе диссертации – в частности, ответа на вопрос о том, что нарушение интегрируемости исключительно происходит от сингулярных пиков отраженного излучения при регулярных начальных условиях, или же есть дополнительные причины такого нарушения. Есть замечание об использовании эпсилон-регуляризации как правила отбора точек поворота в седловых решениях квазиклассического метода третьей главы при их выходе в

комплексную плоскость. Интерпретация этой регуляризации как метода подавления полевых конфигураций с неправильными асимптотиками в континуальном интеграле (2.52) выглядит неубедительной, потому что этот интеграл уже содержит требуемое подавление за счет факторов in-out волновых функций в подынтегральном выражении. Последнее критическое замечание касается вопроса о потенциальной связи результатов диссертации с недавними работами, обосновывающими т. н. кривую Пейджа либо посредством новой нетривиальной седловой точки евклидова континуального интеграла, либо с помощью островной интерпретации квантового запутывания в диаграмме Пенроуза испаряющейся черной дыры. В связи с этим возникает вопрос, нельзя ли рассмотреть более общие краевые условия на вводимой динамической границе – то есть, заменить условие Дирихле для дилатона на условие Неймана или Робина. Не сгладит ли это обсуждаемые в первой и второй главах пики и хлопки в отраженном излучении?

Вышеуказанные замечания, однако, не снижают ценности данной диссертационной работы, а ее автор Фиткевич Максим Дмитриевич безусловно заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук.

Результаты диссертации были рассмотрены и одобрены на семинаре Отделения теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института имени П.Н. Лебедева РАН 27 ноября 2020 г.

Отзыв составил ведущий научный сотрудник  
Лаборатории теории фундаментальных взаимодействий  
Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Физического института имени П.Н. Лебедева РАН  
доктор физ.-мат. наук

А.О. Барвинский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) г. Москва.

г. Москва, Ленинский проспект, д. 53

8 (499) 132-65-54 (Секретариат) [E-mail: office@lebedev.ru/](mailto:office@lebedev.ru)

1. Inflation and gauge field holonomy PHYSICAL REVIEW D Barvinsky, Andrey O.; Zhitnitsky, Ariel R. 2018г. т. 98 номер 4.
2. Comment about the vanishing of the vacuum energy in the Wess-Zumino model PHYSICS LETTERS B Barvinsky, Andrei O.; Kamenshchik, Alexander Yu.; Vardanyan, Tereza 2018г. т. 782 номер стр.. 55-60
3. Renormalization of gauge theories in the background-field approach JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Barvinsky, Andrei O.; Blas, Diego; Herrero-Valea, Mario; Sibiryakov, Sergey M.; Stei 2018г. т. Номер 7.
4. Structure of correlated worldline theories of quantum gravity PHYSICAL REVIEW D Barvinsky, A. O.; Carney, D.; Stamp, P. C. E. 2018г. т. 98 номер 8.
5. On the local frame in nonlinear higher-spin equations JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Vasiliev, M. A. 2018г. т. Номер 1.
6. Current interactions from the one-form sector of nonlinear higher-spin equations NUCLEAR PHYSICS B Gelfon, O. A.; Vasiliev, M. A. 2018г. т. 931 номер стр.. 383-417.
7. From Coxeter higher-spin theories to strings and tensor models JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Vasiliev, M. A. 2018г. т. Номер 8.
8. Lorentz covariant form of extended higher-spin equations JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Didenko, V. E.; Misuna, N. G.; Vasiliev, M. A. 2018г. т. Номер 7.
9. Superconformal index of higher derivative  $N=1$  multiplets in four dimensions JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Beccaria, Matteo; Tseytlin, Arkady A. 2018г. т. Номер 10.
10. Precision matching of circular Wilson loops and strings in  $AdS(5) \times S^5$  JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Medina-Rincon, Daniel; Tseytlin, Arkady A.; Zarembo, Konstantin 2018г. т. Номер 5.
11. Self-dual 6d 2-form fields coupled to non-abelian gauge field: quantum corrections JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS Huang, Kuo-Wei; Roiban, Radu; Tseytlin, Arkady A. 2018г. т. Номер 6.
12. On non-supersymmetric generalizations of the Wilson-Maldacena loops in  $N=4$  SYM NUCLEAR PHYSICS B Beccaria, Matteo; Tseytlin, Arkady A. 2018г. т. 934.