

ОТЗЫВ  
научного руководителя  
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.

Одной из нерешенных проблем современной теоретической физики является так называемый информационный парадокс, т. е. кажущееся нарушение унитарности квантовой эволюции при испарении черных дыр. Парадокс возникает из-за того, что излучение Хокинга рождается вне горизонта событий и не может быть причинно связано с коллапсирующей материей, которая пересекает горизонт и исчезает в сингулярности черной дыры. В результате конечное состояние излучения не может быть получено из начального состояния действием унитарного оператора квантовой эволюции.

В диссертации Максима Дмитриевича Фиткевича рассмотрены задачи, в той или иной степени связанные с информационным парадоксом. Работа состоит из Введения, трех глав основного текста, Заключения и списка литературы. Технически сложные вычисления отнесены в Приложения. Во Введении дается обзор физики черных дыр и информационного парадокса, обозначена общая проблематика работы. Один из путей решения парадокса – рассмотрение упрощенных моделей. Поэтому в первых двух главах диссертации рассматриваются модели двумерной дилатонной гравитации: модель Каллана-Гиддингса-Харви-Строминджера (КГХС) с границей и модель Руссо-Сасскинда-Торласиуса (РСТ) с границей. Модель КГХС с границей в главе 1 исследуется на классическом уровне. Получен широкий класс «солитонных» решений этой модели, которые описывают образование черных дыр из волновых пакетов материи. Показано, что эти решения могут быть проклассифицированы с помощью вспомогательной интегрируемой системы – спиновой цепочки Годена. Несмотря на существование большого количества решений, в диссертации приведен аргумент, что модель не является интегрируемой. А именно, подробное исследование «критического» режима на грани образования черной дыры показывает, что в этой модели не существует полного набора интегралов движения, гладких во всем фазовом пространстве. Благодаря этому свойству модель не может быть точно решена на квантовом уровне.

В главе 2 вычисления обобщаются на квазиклассическую модель РСТ с границей. Важным свойством данной главы, отличающей ее от других работ, является последовательный вывод граничных условий в модели РСТ. А именно, в научной работе, на которой основана эта глава, показано, что функциональный интеграл в модели РСТ связан с интегралом в «плоской» модели Джакива-Тейтельбойма (ДТ) вейлевским преобразованием, которое является сингулярным при определенных значениях полей РСТ. В то же время, множество недавних результатов, полученных в литературе, подсказывают, что «плоская» модель ДТ является несамопротиворечивой квантовой теорией с унитарной  $S$ -матрицей. Поэтому последовательное определение модели РСТ требует введения регулирующей границы, скрывающей сингулярности полей РСТ. Граничный член для эффективного действия после этого выводится из условия Весса-Зумино. В начале работы над диссертацией была надежда, что последовательное построение модели позволит получить несингулярные квазиклассические решения, описывающие испаряющиеся черные дыры. Но в диссертации продемонстрировано, во-первых, что за горизонтами испаряющихся черных дыр присутствуют сингулярности – линии, где нарушаются квазиклассические уравнения. Во-вторых, все решения обладают голыми сингулярностями в точках пересечения горизонта с

последним лучем, благодаря чему невозможно вычислить значение классического действия на этих решениях. Поэтому однопетлевые решения не могут привести к разрешению информационного парадокса, что также строго доказано в главе 2. А именно, продемонстрировано, что в этих решениях большая энтропия запутывания хокинговского излучения не может быть скомпенсирована энтропией «остатка» – нетермального излучения за последним лучем. Таким образом, либо добавленная граница делает модель ДТ несовместной, либо использованный «прямой» квазиклассический метод неправильно описывает когерентность квантовых состояний.

В главе 3 рассмотрен редкий квантовый процесс рассеяния в модели КГХС: отражение высокоэнергичной квантовой частицы от границы КГХС, в результате которого частица начинает двигаться в противоположную сторону. При высоких энергиях частицы вероятность этого процесса экспоненциально подавлена, т. к. в этом случае классическое решение описывает образование черной дыры. В диссертации амплитуда данного процесса вычислена с помощью комплексного квазиклассического метода. Важно, что эта амплитуда напрямую связывает начальные и конечные состояния процесса. Поэтому такое же вычисление в теории поля может привести к разрешению информационного парадокса. Кроме того, в диссертации показано, что вероятность отражения частицы при высоких энергиях подавлена как  $\exp(-S)$ , где  $S$  – энтропия промежуточной черной дыры. Этот ответ согласуется с тем, что черная дыра имеет  $\exp(S)$  состояний.

В Заключение вкратце сформулированы итоги работы.

Полученные в диссертации результаты вносят существенный вклад в понимание структуры моделей дилатонной гравитации с границей, а также процесса испарения черных дыр. Эти результаты представляют значительный интерес для ряда областей теоретической физики, таких как общая теория относительности и теория струн.

К недостатку работы можно отнести недостаточно подробное изложение некоторых вопросов, рассмотренных в работах, на которых она основана. Однако это замечание никоим образом не снижает научной ценности работы.

В процессе работы над диссертацией Максим проявил себя целеустремленным исследователем. Он провел сложные расчеты в моделях дилатонной гравитации и получил ряд конкретных оригинальных результатов. Эти результаты были изложены в научных статьях, а также доложены на конференциях и семинарах.

Диссертационная работа «Двумерная дилатонная гравитация с динамической границей» выполнена на высоком научном уровне. Она соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Фиткевич Максим Дмитриевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

«14» сентября 2020 г.

Старший научный сотрудник ИЯИ РАН,  
кандидат физ.-мат. наук

\_\_\_\_\_ Левков Д.Г.

Подпись Левкова Д.Г. удостоверяю  
Заместитель директора ИЯИ РАН  
доктор физ.-мат. наук, профессор РАН

\_\_\_\_\_ Рубцов Г.И.