

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Артемьева Александра Андреевича «Корреляционные функции в теории струн и квантовой гравитации Лиувилля», представленную к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика

Диссертация А.А. Артемьева посвящена изучению двумерной квантовой гравитации. Проблема согласования теории гравитации Эйнштейна в четырёх измерениях и квантовой теории является важным нерешённым вызовом для теоретической и математической физики. В отличие от четырёхмерного случая для определения и вычисления функционального интеграла по всем метрикам на двумерных поверхностях применимы стандартные методы квантовой теории поля. В частности, задача о конформной материи, взаимодействующей с гравитацией, допускает описание исключительно в терминах двумерной конформной теории поля. Это делает двумерную гравитацию полезной игрушечной моделью и обосновывает актуальность темы исследования.

Существует альтернативный, специфический для случая двух измерений подход к квантовой гравитации, где с помощью усреднения по статистическому ансамблю матриц проводится суммирование по всем дискретизациям двумерных поверхностей. Ожидается, что между таким подходом и некоторыми теоретико-полевыми моделями есть двойственность на уровне корреляционных функций. К таким моделям относится «минимальная струна» — модель двумерной гравитации, где в качестве материи выступает минимальная модель конформной теории поля. Изучению этой теории и проверке гипотезы дуальности и посвящена диссертация А.А. Артемьева.

Естественной является интерпретация такой задачи в терминах теории струн, что даёт интересные для изучения наблюдаемые — пертурбативные струнные амплитуды. С помощью дуального подхода можно получать аналитические выражения для таких амплитуд, что даёт нетривиальный пример теории струн, доступный для исследования во всех порядках теории возмущений. Это, в частности, обосновывает практическую значимость диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста и заключения. Общий объем диссертации составляет 135 страниц. Библиография содержит 83 наименования.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, приведен обзор имеющихся в литературе результатов, сформулированы цели и задачи работы и положения, выносимые на защиту диссертации, а также описаны научная новизна и практическая значимость результатов диссертационного исследования. В конце введения представлено краткое содержание диссертации.

В главе 1 дается обзор двух подходов к минимальной теории струн. Приводятся определения корреляционных чисел в этой теории в рамках конформной теории поля и топологической рекурсии, полученные ранее в литературе результаты для конкретных корреляционных чисел, а также точная формулировка гипотетического словаря двойственности.

В главе 2 изучаются амплитуды в минимальной струне на торе. Основной результат — аналитическое вычисление одноточечных корреляционных чисел для минимальной струны Ли-Янга с использованием подхода конформной теории поля. Оно проводится с использованием высших уравнений движения в теории Лиувилля. Высшие уравнения движения — это операторные уравнения, позволяющие представлять физические операторы в минимальной струне как точную дифференциальную форму на пространстве модулей. Выражение для амплитуды сводится к нетривиальным граничным членам, которые могут быть вычислены явно. Вычисление проводится подробно для первых нетривиальных примеров. Полученные этим методом ответы для амплитуд согласуются с предсказаниями дуального подхода.

В главе 3 рассматриваются амплитуды в минимальной струне в пределе больших значений центрального заряда в теории Лиувилля. Было отмечено, что амплитуды сводятся к кусочно-полиномиальным выражениям, которые можно интерпретировать как объемы пространств модулей для поверхностей с коническими дефектами. Более точная интерпретация этого утверждения изучается в диссертации, где эти объемы связываются с кэлеровыми метриками, введенными Зографом и Тахтаджаном. Кэлеров потенциал для этих метрик дается классическим действием в теории Лиувилля. Это действие вычисляется на примере четырехточечной амплитуды на сфере с использованием двух методов. В первом методе используется представление коррелятора в виде разложения по конформным блокам; классическое действие находится при вычислении интеграла по промежуточным размерностям с помощью метода перевала. В другом методе применяется теория возмущений к «квазиклассическому» пределу дифференциального уравнения Белавина-Полякова-Замолотчикова. Вспомогательные параметры, входящие в это уравнение, определяются из условий на монодромию системы решений и используются для аналитического вычисления классического действия. Оба расчета согласуются с «квазиклассическим» пределом известных ответов для корреляционных чисел в минимальной струне.

В главе 4 развивается подход топологической рекурсии к минимальной струне. Автором получены две новые общие формулы для тахионных амплитуд в этом подходе, которые позволяют систематически их вычислять. Первая связывает амплитуды для специальных значений параметров с « r -деформированными объемами», наблюдаемыми, которые были введены в литературе ранее. Эти r -деформированные объемы просто связаны с данными топологической рекурсии, что позволяет получить общие выражения для них и, соответственно, амплитуд в

виде чисел пересечения тавтологических классов на пространствах модулей кривых. Другая формула, которая справедлива для любых значений параметров, следует из альтернативной формулировки гипотезы дуальности, предложенной автором. Показано, что необходимость применения «резонансных преобразований» — изменения констант связи, ранее введенного для согласования корреляционных чисел в двух подходах, — может быть обойдена и учтена автоматически путем применения «х-у замены» к исходным данным топологической рекурсии. Автором показано, что эта альтернативная формулировка дуальности и полученная из неё общая формула, представляющая амплитуды в виде суммы по стабильным графам, согласуется со всеми результатами, полученными ранее в литературе другими авторами.

Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах (все из перечня рекомендованных ВАК РФ), неоднократно докладывались на представительных международных конференциях и научных семинарах, хорошо известны специалистам. Содержание автореферата правильно отражает содержание диссертации.

Следует отметить, что диссертация не лишена некоторых недостатков:

- Подразделы 2.2.2 и 4.1.3 практически целиком состоят из громоздких технических вычислений на несколько страниц, не являющихся необходимыми для понимания основного текста. Было бы уместнее переместить их в приложения.
- Все результаты работы касаются серии Ли-Янга; однако, не пояснено, чем заключаются отличия и дополнительные сложности в общем случае (p, q) минимальной теории струн. Упомянуто, что на языке случайных матриц общий случай требует рассмотрения двухматричной модели вместо одноматричной, но в подходе топологической рекурсии, используемом в работе, принципиальной разницы нет. В частности, можно ли на обобщить подход работы автора IV с «х-у заменой» для (p, q) -случая?
- Для полноты текста диссертации следовало уделить больше внимания некоторым пререквизитам: используются без объяснения хотя и известные специалистам, но не вполне общепринятые понятия и обозначения. В особенности, это касается теории пересечений тавтологических классов когомологий на пространстве модулей кривых, необходимой для понимания результатов главы 4.
- Диссертация содержит ряд мелких опечаток. К примеру, в некоторых формулах на с. 53 опущен индекс «т» у корреляционных функций, обозначающий модулярный параметр; на с. 88 «эйлеровой характеристики» написано с прописной буквы вместо строчной; во всем тексте диссертации не согласовано

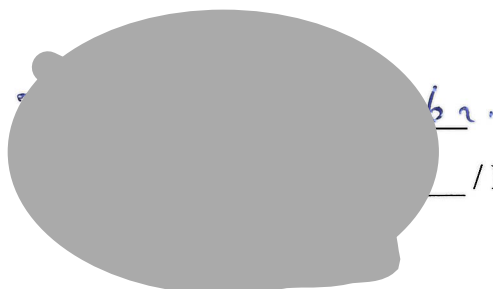
использование кавычек при употреблении терминов таких, как «р-деформированные объемы» или «резонансные преобразования».

Тем не менее, наличие перечисленных недостатков никак не уменьшает научной ценности полученных в диссертации замечательных результатов.

Считаю, что представленная к оценке диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Александр Андреевич Артемьев заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

дата

подпись



/ Константин Борисович Алкалаев

профессор РАН, доктор физико-математических наук
по специальности 01.04.02 - теоретическая физика
ведущий научный сотрудник

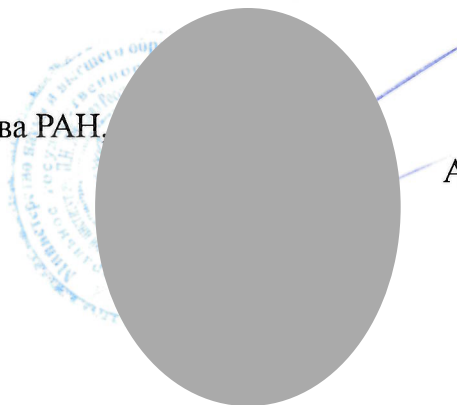
Отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
Москва, Ленинский проспект 53, ФИАН, ОТФ, 119991
тел.: 89037639804
e-mail: alkalaev@lpi.ru

Даю согласие на обработку моих персональных данных любым законодательно разрешенным способом.

Подпись К.Б. Алкалаева удостоверяю:

Ученый секретарь

Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.
кандидат физико-математических наук



А.В. Колобов