Отзыв

официального оппонента кандидата физико-математических наук,
Литвинова Алексея Викторовича
о диссертационной работе К.А. Губарева
«Симметрии пространства решений уравнений 11-мерной супергравитации»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Теория струн и М-теория являются активно развивающимися областями современной теоретической физики. Они направлены на решение следующих перспективных задач: построение самосогласованной теории квантовой гравитации; описание всех известных фундаментальных взаимодействий единой теорией; исследование конформных квантовых теорий голографическим методом, в том числе голографической КХД и конформных теорий применяющихся для описания различных материалов типа графена, странных металлов и т. д.; описание явлений, выходящих за рамки стандартной модели, таких как энтропия черных дыр, проблема космологической постоянной, темная материя. Для продвижения во всех этих направлениях необходимо понимать на каких фоновых пространствах в принципе можно рассматривать мембраны и струны. Частично ответ на этот вопрос дает 10-мерная супергравитация, решения которой описывают самосогласованные фоны для струны Рамона-Невё-Шварца. Однако одним из сравнительно недавних открытий стало обнаружение 10-мерной обобщенной супергравитации решения которой выходят за рамки супергравитации, но сохраняют каппа-инвариантность струны Грина-Шварца. Для супермембран каппа-инвариантность гарантируется выполнением уравнений 11-мерной супергравитации для фоновых полей, однако неизвестно существует ослабление этих уравнения, все еще гарантирующее каппа-симметрию мембраны, аналогично обобщенной супергравитации в 10 измерениях.

Из общего голографического принципа можно сказать что любой теории струн, мембран на некотором непротиворечивом фоне существует голографически дуальная квантовая теория поля. Фоны с конформной симметрией, например содержащие AdS фактор, отвечают квантовым теориям с конформной симметрией. Деформации фонов на стороне гравитации отвечают добавлению (маргинальных) операторов, вакуумных средних, некоммутативности на стороне квантовых теорий. Таким образом исследование деформаций вакуумов теории струн и М-теории открывает новую возможность исследования пространства (супер)конформных теорий поля, имеющих широкое применение в современной теоретической физике. Стоит отметить, что для теории струн известно множество различных интегрируемых моделей. Исследование деформаций фонов, сохраняющих интегрируемость представляют особый интерес, так как позволяют говорить о точной решаемости голографически дуальных теорий.

Диссертация К.А. Губарева посвящена изучению симметрий пространства решений 11-мерной супергравитации, разработке методов построения новых решений при помощи поливекторных деформаций решений, обладающих векторами Киллинга. В диссертации развит потоковый подход для исключительных теорий поля $E_{6(6)}$ и SL(5), а также для последней найдены тождества Бьянки, что позволяет более полно описывать объекты М-теории явно используя симметрию U-дуальности. В работе предложен способ построения обобщенной 10-мерной супергравитации методом сдвига потоков в двойной теории поля. Этот подход обобщен на 11-мерный случай, и с его помощью построены предполагаемые уравнения обобщенной 11-мерной супергравитации.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения и списка литературы, который содержит 191 наименование. Во Введении обосновывается актуальность выбранной тематики, ее научная новизна, дается исторический контекст исследования, теоретическая и практическая значимость работы, описывается методология и методы исследования и перечисляются основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе кратко рассматриваются основы теории суперструн, и обсуждается два возможных подхода к их описанию. Первый подход, известный как подход Рамона–Невё–Шварца обладает суперсимметрией на мировом объеме и является самосогласованным при условии сокращения Вейлевской аномалии. Последнее, в пределе высокого натяжения для струн, обеспечивается выполнением уравнений супергравитации для фоновых полей. В тоже время для альтернативного подхода Грина–Шварца с суперсимметрией в объемлющем пространтсве эти условия ослабляются до уравнений обобщенной супергравитации, выполнение которых гарантирует каппа-инвариантность суперструны. В главе обсуждаются формулировки супергравитаций и обобщенной супергравитации как самостоятельных разделов, а также их скрытые симметрии – T- и S- дуальности. Последние обсуждаются как в контексте супергравитации и фоновых полей, так и в контексте теории струн. В завершении главы рассматриваются основы двойной теории поля, позволяющей описывать вакуумы теории струн явно ковариантным относительно T-дуальности образом.

Вторая глава посвящена теории супермембран, называемой М-теорией, которая позволяет объединить пять известных теорий суперструн и является их правильным описанием в пределе большой струнной константы связи. Фундаментальными объектами такой теории являются M2 и M5-браны, описываемые при помощи действия Грина-Шварца. Его каппа-инвариантность гарантируется выполнением уравнений 11-мерной супергравитации для фоновых полей. В главе обсуждается формулировка 11-мерной супергравитации как самостоятельной теории и ее симметрии. Особое внимание уделяется рассмотрению неявной симметрии U-дуальности. Рассматривается подход исключительных теорий поля к описанию вакуумов М-теории, которые позволяют сделать U-дуальность явной. В главе детально рассмотрено построение исключительной теории поля SL(5), полного набора ее потоков, потоковой формулировки лагранжиана и найдены тождества Бьянки, с помощью которых проведена классификация объектов М-теории. Глава завершается кратким обзором исключительной теории поля $E_{6(6)}$.

В третьей главе обсуждаются деформации решений супергравитации и методы их построения. Глава начинается с краткого обзора деформаций сигма моделей, а также бивекторных деформаций 10-мерной супергравитации. Рассматривается метод построения таких деформаций в рамках потоковой формулировки двойной теории поля, и демонстрируется вывод достаточных для генерации решений условий на параметры деформации. Такими условиями оказывается унимодулярность и классическое уравнение Янга-Бакстера. В завершении главы предлагаемый подход обобщается на 11-мерную супергравитацию, и в рамках потоковой формулировки исключительной теории поля строятся поливекторные деформации решений 11-мерной супергравитации, приводятся примеры таких деформаций для фона $AdS_4 \times S^7$. В качестве достаточных условий для генерации решений в этом случае возникает обобщение унимодулярности и обобщенной классическое уравнение Янга-Бакстера.

В четвертой главе обсуждается обобщенная 10-мерная супергравитация и кандидат на обобщение 11-мерной супергравитации. Уравнения 10-мерной обобщенной супергравитации гарантируют каппа-симметричность суперструны Грина-Шварца на решающем их фоне. Такие фоны могут быть сгенерированы при помощи неунимодулярных бивекторных деформаций Янга-Бакстера. В главе предлагается метод построения уравнений обобщенной 10-мерной супергравитации, путем сдвига в уравнениях движения потоков на величину отвечающую неунимодулярным деформациям. Эта идея обобщается на 11-мерный случай, с помощью которой построены уравнения обобщающие 11-мерную супергравитацию, которые предполагается гарантируют каппа-инвариантность супермембраны Грина-Шварца. В завершении главы приводятся примеры обобщенных фонов.

В заключении сформулированы положения, выносимые автором на защиту, обсуждаются вопросы и направления для дальнейших исследований по тематике диссертации.

В целом, оценивая представленную работу можно сказать, что диссертация К.А. Губарева является самостоятельным законченным исследованием по актуальным задачами в области теоретической физики. Работа выполнена на высоком науном и техническом уровне. Стоит отметить структурированность и подробность изложения материала. Автор привел множество подробностей вычислений в приложениях, а также выложил в открытый доступ файлы Cadabra использованные для промежуточных символьных вычислений.

Результаты представленные в диссертации являются новыми и опубликованы автором в 7 статьях, в рецензируемых журналах, в том числе первого квартиля. Результаты неоднократно докладывались диссертантом на отечественных и международных конференциях и семинарах. Все работы выполнены при непосредственном участии диссертанта, а его вклад в эти работы является решающим. Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертации и опубликованным статьям, и в полной мере отражает основные положения диссертации.

Диссертационная работа К.А. Губарева «Симметрии пространства решений уравнений 11-мерной супергравитации» соответствует всем требованиям ВАК о присуждении учёных степеней, а диссертант К.А. Губарев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Официальный оппонент, кандидат физико-математических наук,
доцент Центра Перспективных Исследований им. И.М. Кричевера некоммерческой образовательной организации высшего образования

«Сколковский институт науки и технологий»
(специальность – 01.04.02) А.В. Литвинов

Большой бул., 30, стр 1, Москва, 121205
«Сколковский институт науки и технологий»

+7(495) 280-1491
e-mail: A.Litvinov@skoltech.ru

21.05.2024

Подпись Литвинова А.В. подтверждаю.
РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА
КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
ГУК О.С.