ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Иосифа Львовича Бухбиндера, на диссертацию Кирилла Алексеевича Губарева на тему "Симметрии пространства решений уравнений 11-мерной супергравитации, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3– теоретическая физика.

Развитие теории суперструн, связанное с новыми подходами к построению объединенной теории всех фундаментальных взаимодействий, включая описание гравитации на квантовом уровне, привело к возникновению ряда новых направлений исследований в современной теоретической и математической физике. Модели суперструн характеризуются большим количеством глобальных и локальных симметрий, что порождает необходимость разработки методов описания таких симметрий. Предполагается, что пять базовых моделей суперструн объединяются сетью дуальностей в рамках гипотетической М-теории, тесно связанной с протяженными объектами в 11-мерной супергравитации. Одной из **актуальных** проблем М-теории является проблема описания пространства вакуумов и его симметрий. Именно этой проблеме посвящена кандидатская диссертация К.А. Губарева.

Диссертация состоит из **Введения**, **четырех глав**, **Заключения** и списка литературы, который содержит 191 наименование. **Во введении** приводится достаточно подробный обзор литературы по проблемам, связанной с тематикой диссертации, дается обоснование актуальности исследования и ее научной новизны, описаны цели и задачи работы, ее теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту и описана структура диссертации.

Первая глава носит обзорный характер, в ней приводится краткий обзор двух основных подходов к описанию суперструн и обсуждаются достаточные условия на фоновые поля, обеспечивающие согласованность теорий. Для подхода Рамона–Невё–Шварца достаточными условиями являются уравнения супергравитации, которые гарантируют сокращение вейлевской аномалии, однако для подхода Грина–Шварца эти условия ослабляются до уравнений обобщенной супергравитации, которые гарантируют каппа-инвариантность суперструны. Также в главе обсуждаются T- и S- дуальности, как скрытые симметрии теории струн и супергравитации, и приводится краткий обзор основ двойной теории поля, являющейся явно инвариантной относительно T-дуальности, и содержащей в себе 10-мерную супергравитацию.

Во второй главе обсуждается М-теория, как способ объединения пяти известных и непротиворечивых теорий суперструн. Приводятся действия для её фундаментальных объектов – M2- и M5-бран, для каппа-инвариантности и согласованности которых достаточно выполнения уравнений 11-мерной супергравитации. Затем рассматривается U-дуальность, как скрытая симметрия М-теории и 11-мерной супергравитации, и исключительные теории поля, как подход позволяющий сделать U-дуальность явной. В главе обсуждается общий метод построения исключительных теорий поля, после чего приводится детальное построение потоковой формулировки исключительной теории поля SL(5) с

полным набором тождеств Бьянки и их применением для классификации объектов М-теории. В завершении главы приводится краткий обзор исключительной теории поля $E_{6(6)}$.

В третьей главе исследуются поливекторные деформации решений супергравитации. Глава начинается с короткой мотивации в виде исторической справки об изучении интегрируемых деформаций сигма моделей, которое завершилось наиболее общим описанием таких деформаций как би-векторных деформации Янга-Бакстера решений супергравитации. На уровне полей супергравитации такие деформации сильно нелинейны, что затрудняет их исследование. Однако формализм двойной теории поля позволяет сделать преобразования деформации линейными. Затем из потоковой формулировки двойной теории поля выводятся достаточные условия для генерации решений 10-мерной супергравитации при би-киллинговых деформациях. Такими условиями оказываются условие унимодулярности и классическое уравнения Янга–Бакстера на би-векторный параметр деформации. Далее деформации Янга–Бакстера обобщаются на случай 11-мерной супергравитации. Для их построения и исследования используются исключительные теории поля SL(5) и $E_{6(6)}$, а в качестве параметров деформации возникают три- и шесть-векторы. В завершении главы выводятся достаточные для генерации решений 11-мерной супергравитации условия на параметры деформаций, являющиеся обобщением классического уравнения Янга–Бакстера и условиями унимодулярности.

Четвертая глава посвящена обсуждению 10-мерной обобщенной супергравитации и построению кандидата на 11-мерную обобщенную супергравитации. Глава начинается с рассмотрения исторического открытия обобщенной 10-мерной супергравитации при исследовании деформаций сигма модели на фоне $AdS_5 \times S^5$, каппа-инвариантность которой сохранялась после деформации, но уравнения супергравитации не выполнялись для деформированного фона. Затем рассматривается общий способ генерации решений обобщенной 10-мерной супергравитации при помощи неунимодулярных деформаций Янга–Бакстера, а также предлагается способ построения обобщенных уравнений в рамках потоковой формулировки двойной теории поля при помощи потокового сдвига. Эта идее обобщается на 11-мерный случай, и с её помощью в рамках исключительной теории поля SL(5) строится обобщение уравнений 11-мерной супергравитации, а также приводятся примеры решений. Каппа-инвариантность супермембраны на таких решениях остается открытым вопросом.

В Заключении сформулированы положения, выносимые на защиту, и представлены наиболее интересные направления дальнейших исследований по тематике диссертации. Технические детали конкретных вычислений отнесены в Приложения.

Оценивая работу в целом, можно сказать, что диссертация К.А. Губарева является законченным исследованием по достаточно широкому спектру задач теоретической физики. Следует отметить последовательность и детальность подачи материала, а также аккуратность оформления. Диссертация выполнена на высоком физическом и математическом уровне по **актуальной** тематике. Полученные результаты являются **новыми** и полностью **обоснованными,** они опубликованы в 6 статьях, в том числе в ведущих международных журналах и докладывались на многочисленных семинарах и конференциях. **Достоверность** результатов обусловлена корректностью использования общих методов релятивистской теории поля, теории групп,

теории гравитации и теории интегрируемых систем, а также совпадением в частных случаях результатов автора с результатами предшествующих авторов. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

В качестве замечаний хотел бы отметить следующее.

1. Было бы полезно провести редукцию решений 10- и 11-мерной супергравитации, найденных в диссертации, в четырехмерное пространство и выяснить как соотносятся полученные таким образом метрики с известными решениями 4-мерной общей теории относительности.

2. Рассмотренные в диссертации симметрии решений 11- мерной супергравитации с касаются классических симметрии теории поля. Было бы полезно обсудить насколько эти симметрии сохраняются в квантовой теории поля, в частности связаны ли они с симметриями струнных амплитуд в М.

Однако, отмеченные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы и не снижают научное значение полученных результатов. По сути их можно рассматривать как пожелания для дальнейшей работы.

Учитывая вышесказанное, считаю, что диссертационная работа К.А. Губарева «Симметрии пространства решений уравнений 11-мерной супергравитации» соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2014 года, а ее автор К.А. Губарев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Официальный оппонент:
Бухбиндер Иосиф Львович,

14.05.2024 г.

доктор физико-математических наук по специальности
01.04.02 — теоретическая и математическая физика,
главный научный сотрудник
Лаборатории теоретической физики Международной
межправительственной научно-исследовательской организации
Объединенный институт ядерных исследований,
141980, Московская область, г. Дубна,
email: buchbinder@theor.jinr.ru

Подпись Иосифа Львовича Бухбиндера заверяю
Заместитель директора ЛТФ, ОИЯИ

О.В. Теряев

Объединенный институт ядерных исследований