

«УТВЕРЖДАЮ»

ректор ФГБОУ ВО

«Томский государственный
педагогический университет»

д.ф.-м.н. А.Н. Макаренко

ОТЗЫВ

Ведущей организации

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Томский государственный педагогический университет"

на диссертационную работу Мусаева Эдварда Таваккуловича

«Ковариантный подход к изучению дуальностей в теории суперструн и в М-теории»,

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Теория струн представляет исключительный интерес и как кандидат на единое квантовое описание всех фундаментальных взаимодействий при высоких энергиях и как мощный математический инструмент применимый в других областях теоретической и математической физики. Исследования в этих областях, например, связаны с различными задачами физики конденсированного состояния, квантовой теории поля, теории интегрируемых систем, с задачей поиска и вычисления инвариантов многообразий и инвариантов узлов. В значительной степени успешность решения подобных задач в терминах теории струн связана с ее высокой степенью симметрии относительно преобразований суперсимметрии и дуальностей (T, S и U). Например, зеркальная симметрия является частным случаем T-дуальности, а ее неабелево обобщение позволяет генерировать семейства новых интегрируемых систем. Работы, посвященные дуальностям в теории струн и М-теории и их приложениям, активно публикуются в международных научных журналах. Исследования в области описания различных дуальностей и изучения их структуры и свойств лежат в русле фундаментальных направлений развития современной теоретической и математической физики и их актуальность не вызывает сомнения. Проблемы, рассматриваемые в диссертации Э.Т. Мусаева полностью соответствуют тенденциям развития этих фундаментальных направлений

Диссертационная работа в целом посвящена исследованию симметрий T- и U-дуальности в теории струн и в M-теории и построению теоретико-полевого формализма, ковариантного относительно таких существенно струнных симметрий, с последующим приложением к задачам размерных редукций максимальной супергравитации и к описанию динамики фундаментальных объектов теории струн (5-бран).

Диссертация состоит из Введения, шести глав, Заключения и списка литературы. Во Введении обоснована актуальность темы исследований, ее научная новизна, описаны цели и задачи диссертационной работы, теоретическая и практическая значимость работы, методология исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обсуждению T-дуальности в теории струн и ее неабелевых обобщений. Вводится понятие правил Бушера, подробно описывается алгоритм пуассон-лиевой T-дуальности в терминах классического дубля Дринфельда.

Вторая глава посвящена обсуждению U-дуальности в 11 измерениях с двух точек зрения: как симметрии 1/2БПС состояний M-теории, и как симметрии Креммера-Жулия 11-мерной супергравитации, компактифицированной на тор. В этой главе явно строится соответствие между 1/2БПС объектами M-теории и весами соответствующей группы U-дуальности, вводится понятие калиброванной супергравитации и описывается тензорная иерархия соответствующих теорий.

Третья глава посвящена построению теоретико-полевого формализма, ковариантного относительно групп симметрий U-дуальности, конкретнее, рассматриваются группы дуальности $SL(5)$, $SO(5,5)$, E6. Вводится понятие расширенного пространства, обобщенной производной Ли и условия проекции. В диссертационной работе Э.Т. Мусаев построил в явном виде лагранжианы теорий поля, ковариантных относительно упомянутых групп U-дуальности, включая кинетические члены для всех полей тензорной иерархии, скалярный потенциал и топологические члены. Для теории с группой E6 построен полностью суперсимметричный формализм. Поля таких теорий зависят от координат внешнего пространства-времени и от всех координат расширенного пространства по модулю условия проекции.

В четвертой главе построенный формализм используется для изучения размерной редукции 11-мерной супергравитации в присутствии поток калибровочных полей на внутреннее многообразие с кручением. Показано, что обобщенная размерная редукция Шерка-Шварца ковариантных теорий воспроизводит калиброванные супергравитации в низких размерностях. Продемонстрирована связь тензора погружения калиброванной супергравитации с обобщенными твистовыми матрицами. Показано, что такие редукции воспроизводят все компоненты тензора погружения, в том числе негеометрические, которые нельзя получить в стандартных схемах размерной редукции.

В пятой главе диссертации Э.Т. Мусаевым построено эффективное действие, единым образом описывающее динамику 5-бран NS-сектора в расширенном пространстве. Предложена интерпретация экзотических бран теории струн и М-теории, как обычных бран, специальным образом ориентированных в расширенном пространстве. Состоятельность интерпретации продемонстрирована явным вычислением потоков калибровочных полей для орбиты NS5-браны и $6^{(3,1)}$ -браны. В явном виде представлены решения уравнений двойной теории поля с источником в виде экзотических 5-бран NS-сектора. Построенное эффективное действие для 5-бран включает действие DBI и ковариантное действие Весса-Зумино. Для Dp-бран построено действие Весса-Зумино и показано, что различные Dp-браны также интерпретируются, как различные ориентации одного 10-мерного объекта.

Шестая глава посвящена обобщенным дуальностям в размерности 10 и 11. В этой главе Э.Т. Мусаевым предлагается алгоритм неабелевой U-дуальности, основанный на внешнем автоморфизме соответствующей абелевой группы U-дуальности, который всегда генерирует решение 11-мерной супергравитации. Действие алгоритма демонстрируется на конкретных примерах для групп $SL(5)$ и $SO(5,5)$ и показывается, что во втором случае алгоритм дает новые нетривиальные решения уравнений 11-мерной супергравитации. Явно показано, что такой класс преобразований сохраняет структуру соответствующей исключительной алгебры Дринфельда. В этой же главе предложен метод деформации решений 11-мерной супергравитации, основанный на обобщенных U-дуальностях, названный поливекторными деформациями. Найдены примеры таких деформаций для групповых многообразий и получен общий вид преобразований для римановых многообразий произвольной структуры.

В Заключении кратко описываются полученные результаты и обозначаются наиболее интересные направления дальнейших исследований по теме диссертации. Результаты, полученные в работе, вносят значительный вклад в описание и понимание симметрий пространства вакуумов теории струн и М-теории. Таким образом, полученные в диссертационном исследовании результаты находят широкое применение, как в данной области теоретической физики, так и во многих других областях, как физики, так и математики.

Научная новизна работы заключается в том, что на основе геометрии специальным образом расширенного пространства построен теоретико-полевой формализм, обладающий особыми симметриями М-теории – U-дуальностями. Предложенный подход позволяет рассматривать существенно струнные эффекты в терминах теории поля, что продемонстрировано в работе на примере непертурбативных инстантонных поправок на мировом листе струны к фоновой геометрии экзотических бран и негеометрических компактификаций, что можно квалифицировать как научное достижение в данной области.

Есть к работе некоторые замечания:

1. В разделе 2.3 Т-дуальность определена, как инверсия двух радиусов, тогда как ранее она определялась как инверсия радиуса одного направления, но не поясняется, как они связаны.
2. Из текста остается неясным, можно ли получить конечные преобразования координат на расширенном пространстве из обобщенной производной Ли, например, ее экспоненцированием.
3. В тексте обсуждается обобщенная редукция Шерка-Шварца, при этом нет вводной части, более подробно поясняющей стандартную редукцию Шерка-Шварца, объяснение ее самосогласованности и генерацию массы, для чего она и была изначально предложена.
4. В тексте внешнее пространство иногда именуется «пространство-время», иногда просто «пространство». Учитывая, что временное направление всегда подразумевается внешним, следовало бы использовать всегда первое.

Эти замечания, однако, не снижают научной ценности, масштаба проделанной работы и значимости полученных результатов.

В целом, рассматриваемая диссертация представляет собой законченную научную работу, выполненную по актуальной тематике. Полученные в диссертации результаты, безусловно, представляют большой интерес в контексте исследований динамики фундаментальных степеней свободы теории струн и М-теории (струн и мембран); задачи построения струнных космологических моделей, включающих размерную редукцию; исследования и генерации семейств (конформных) теорий поля в рамках голографического соответствия. Материалы диссертации опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах из списка ВАК, в том числе в журналах первого квартиля и неоднократно докладывались на международных научных конференциях. Полученные результаты известны специалистам и цитируются. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Данная диссертационная работа является научной квалификационной работой и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Мусаев Эдвард Таваккулович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3 - теоретическая физика.

Отзыв на диссертацию был представлен и утвержден на семинаре Института научных исследований и разработок ТГПУ – января 2024 года.

Отзыв составил

ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра
теоретической физики

Томского государственного педагогического университета
Доктор физико-математических наук, доцент



В.А. Крыхтин

Крыхтин Владимир Александрович

ТГПУ, 634061, Томская область, г. Томск, ул. Киевская, д. 60
8(382-2) 311-352, krykhtin@tspu.edu.ru

Подпись В.А. Крыхтина удостоверяю



Ученый секретарь Ученого совета ТГПУ

31.01.2024г.

Н.И. Медюха

Список основных работ сотрудников ведущей организации ФГБОУ ВО "Томский государственный педагогический университет" по тематике диссертации Э.Т. Мусаева «Ковариантный подход к изучению дуальностей в теории суперструн и в М-теории» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Lagrangian formulation for free 6D infinite spin field / I. L. Buchbinder [et al.] // Nucl. Phys. B. — 2023. — Vol. 996. — 116365 P.

2. Generalization of the Bargmann–Wigner construction for infinite-spin fields / I. L. Buchbinder [et al.] // Theor. Math. Phys. — 2023. — Vol. 216, no. 1. — P. 973–999.

3. Reshetnyak Alexander. BRST-BV approach for interacting higher spin fields // Theor. Math. Phys. — 2023. — Vol. 217. — P. 1505–1527.

4. Lavrov P. M., Mudruk V. I. Quintic vertices of spin 3, vector and scalar fields // Phys. Lett. B. — 2023. — Vol. 837. — 137630 P.

5. Reshetnyak A. A. Towards the Structure of a Cubic Interaction Vertex for Massless Integer Higher Spin Fields // *Phys. Part. Nucl. Lett.* — 2022. — Vol. 19, no. 6. — P. 631–637.
6. Buchbinder Ioseph, Ivanov Evgeny, Zaigraev Nikita. $N = 2$ higher spins: superfield equations of motion, the hypermultiplet supercurrents, and the component structure // *JHEP.* — 2023. — Vol. 03. — 036 P.
7. Lavrov P. M. On interactions of massless spin 3 and scalar fields // *Eur. Phys. J. C.* — 2022. — Vol. 82, no. 11. — 1059 P.
8. Buchbinder I. L., Lavrov P. M. On a gauge-invariant deformation of a classical gauge-invariant theory // *JHEP.* — 2021. — Vol. 06. — 097 P. DOI: 10.1007/JHEP06(2021)097.
9. Lavrov Peter M. BRST, Ward identities, gauge dependence, and a functional renormalization group // *Phys. Rev. D.* — 2022. — Vol. 105, no. 8. — P. 085014–1.
10. Functional renormalization group approach and gauge dependence in gravity theories / Víctor F. Barra [et al.] // *Phys. Rev. D.* — 2020. — Vol. 101, no. 6. — 065001 P.