

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.04,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 25 марта 2024 года № 25

О присуждении Мусаеву Эдварду Таваккуловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Ковариантный подход к изучению дуальностей в теории суперструн и в М-теории» по специальности 1.3.3. Теоретическая физика принята к защите 18 декабря 2023 года (протокол заседания № 12) диссертационным советом 24.1.262.04, созданным 18 октября 2023 года приказом № 1975/нк на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), подведомственного Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Мусаев Эдвард Таваккулович, 16 мая 1985 года рождения, работает старшим научным сотрудником в МФТИ.

Диссертацию на соискание ученой степени PhD «U–dualities in Type II string theories and M–theory» защитил в 2013 году в университете им. Королевы Марии, Лондон (эквивалентна степени кандидата физико-математических наук согласно распоряжения Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2019 г. No 799-р).

Диссертация выполнена в лаборатории физики высоких энергий МФТИ.

**Официальные оппоненты:**

1. Арефьева Ирина Ярославна, доктор физико-математических наук, проф. член.-кор. РАН, ФГБУН Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук, главный научный сотрудник,
  2. Иванов Евгений Алексеевич, доктор физико-математических наук, проф., Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, начальник сектора лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова,
  3. Юнг Алексей Викторович, доктор физико-математических наук, проф., Петербургский институт ядерной физики НИЦ Курчатовский институт, заведующий сектором теоретической физики высоких энергий,
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный педагогический университет» (ТГПУ) в своем положительном отзыве, составленном и подписанном доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Института научных исследований и разработок Томского государственного педагогического университета Крыхтиным Владимиром Александровичем, также подписанным ученым секретарем ТГПУ Медюхой Натальей Ивановной и утвержденным доктором физико-математических наук, доцентом, ректором ТГПУ Макаренко Андреем Николаевичем, указала, что результаты диссертации составляют крупное научное достижение в теоретической физике, предложенный подход позволяет рассматривать существенно струнные эффекты в терминах теории поля и представляет 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.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой научной квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации, полученными ими научными результатами мирового

уровня и многолетним опытом проведения научных исследований по сходной тематике.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым действующим Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а автор диссертации Мусаев Эдвард Таваккулович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Соискатель имеет 42 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных Web of Science, опубликовано 20 работ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. David S. Berman и др. — «Duality Invariant M-theory: Gauged supergravities and Scherk-Schwarz reductions». — В: JHEP 10 (2012), с. 174. — doi: 10.1007 / JHEP10(2012 ) 174.
2. Edvard T. Musaev. — «Gauged supergravities in 5 and 6 dimensions from generalised Scherk-Schwarz reductions». — В: JHEP 05 (2013), с. 161. — doi: 10.1007/JHEP05(2013)161.
3. Edvard Musaev и Henning Samtleben. — «Fermions and supersymmetry in  $E_{6(6)}$  exceptional field theory». — В: JHEP 03 (2015), с. 027. — doi:10.1007/JHEP03(2015)027.
4. Aidar Abzalov, Ilya Bakhmatov и Edvard T. Musaev. — «Exceptional field theory:  $SO(5,5)$  ». — В: JHEP 06 (2015), с. 088. — doi:10.1007/JHEP06(2015)088.
5. Edvard T. Musaev. — «Exceptional field theory:  $SL(5)$  ». — В: JHEP 02 (2016), с. 012. — doi: 10.1007/JHEP02(2016)012.
6. Ilya Bakhmatov, Axel Kleinschmidt и Edvard T. Musaev. — «Non-geometric

- branes are DFT monopoles». — B: JHEP 10 (2016), c. 076. —  
doi: 10.1007/JHEP10(2016)076.
7. Olaf Hohm, Edvard T. Musaev и Henning Samtleben. — « $O(d+1,d+1)$  enhanced double field theory». — B: JHEP 10 (2017), c. 086. —  
doi: 10.1007/JHEP10(2017)086.
  8. Chris D. A. Blair и Edvard T. Musaev. — «Five-brane actions in double field theory». — B: JHEP 03 (2018), c. 111. — doi: 10.1007/JHEP03(2018) 111.
  9. Ilya Bakhmatov и др. — «Exotic branes in Exceptional Field Theory: the  $SL(5)$  duality group». — B: JHEP 08 (2018), c. 021. —  
doi: 10.1007/JHEP08(2018)021.
  10. David S. Berman, Edvard T. Musaev и Ray Otsuki. — «Exotic Branes in Exceptional Field Theory:  $E_{7(7)}$  and Beyond». — B: JHEP 12 (2018), c. 053. —  
doi: 10.1007/JHEP12(2018) 053.
  11. Ilya Bakhmatov и Edvard T. Musaev. — «Classical Yang-Baxter equation from  $\beta$ -supergravity». — B: JHEP 01 (2019), c. 140. —  
doi: 10.1007/JHEP01(2019)140.
  12. Edvard T. Musaev. — «Gauge Field Fluxes and Bianchi Identities in Extended Field Theories». — B: Theor. Math. Phys. 200.2 (2019)., c. 1158—1170. —  
doi: 10.1134/S0040577919080087,10.4213/tmf9671.
  13. Eric Bergshoeff и др. — «The different faces of branes in Double Field Theory». — B: JHEP 09 (2019). [JHEP19,110(2020)], c. 110. —  
doi: 10.1007/JHEP09(2019)110.
  14. Ilya Bakhmatov и др. — «Tri-vector deformations in  $d = 11$  supergravity». — B: JHEP 08 (2019), c. 126. — doi: 10.1007/JHEP08(2019)126.
  15. Edvard T. Musaev. — «U-Dualities in Type II and M-Theory: A Covariant Approach». — B: Symmetry 11.8 (2019), c. 993. —  
doi: 10.3390/sym11080993.
  16. Edvard T. Musaev и Yuho Sakatani. — «Non-Abelian U duality at work». — B: Phys. Rev. D 104.4 (2021), c. 046015. —  
doi: 10.1103/PhysRevD.104.046015.
  17. Edvard T. Musaev. — «On non-abelian U-duality of 11D backgrounds». —

- B: Universe 8 (2022), с. 276. — doi: 10.3390/universe8050276.
18. Edvard T. Musaev и Jeffrey P. Molina. — «The invariant action for solitonic 5-branes». — В: Eur. Phys. J. C 82.11 (2022), с. 978. — doi: 10.1140/epjc/s10052-022-10946-1.
19. Alexander Kulyabin и Edvard T. Musaev. — «SUSY and Tri-Vector Deformations». — В: Symmetry 14.12 (2022), с. 2525. — doi: 10.3390/sym14122525.
20. Sameer Kumar и Edvard T. Musaev. — «On 10-dimensional Exceptional Drinfeld algebras». — В: PTEP 2023.8 (2023), 083B05. — doi: 10.1093/ptep/ptad100.

Основной целью диссертационной работы Э. Т. Мусаева является изучение симметрий U-дуальности в теории струн и в M-теории, разработка теоретико-полевого формализма, ковариантного по отношению к этим симметриям, и его приложение к описанию динамики бран и размерных редукций. В диссертационной работе строится формализм, ковариантный относительно групп симметрий  $SL(5)$ ,  $SO(5,5)$ ,  $E_6$ , а именно: ковариантные лагранжианы, включающие кинетические члены для всех полей тензорной иерархии, скалярный потенциал и топологические члены типа Черна-Саймонса. Для теории с группой  $E_6$  построен полностью суперсимметричный формализм. Исследуется динамика Dp-бран и 5-бран NS-сектора теории струн в ковариантных терминах, для чего в диссертации разработан специальный формализм, описывающий браны, как разные проекции одного динамического объекта, вложенного в расширенное пространство.

Построенный в диссертационной работе формализм применяется для изучения размерной редукции 11-мерной супергравитации в присутствии потоков калибровочных полей на внутреннем многообразии с кручением. Демонстрируется, что обобщенная редукция Шерка-Шварца построенных ковариантных теорий описывает негеометрические редукции, которые не описываются в терминах стандартной супергравитации.

Э. Т. Мусаевым выполнены важные исследования, направленные на анализ неабелевых  $U$ -дуальностей в супергравитации и в  $M$ -теории. В частности, предложены преобразования решений уравнений 11-мерной супергравитации, естественным образом обобщающие известные преобразования неабелевой  $T$ -дуальности 10-мерных решений. Предложен метод деформации решений 11-мерной супергравитации, основанный на обобщенных  $U$ -дуальностях, названный три-векторными деформациями. Данное направление исследований актуально в настоящий момент в контексте голографической дуальности между супергравитационными решениями и калибровочными теориями поля. Предложенные методы генерации решений представляют особый интерес в связи с задачей изучения несуперсимметричных семейств теорий, связанных с заданными суперконформными теориями поля и являющимися их деформациями. Теоретические методы, развиваемые в диссертации, являются современными и перспективными для исследований суперсимметричных калибровочных теорий, в теории струн и в теории критических явлений.

Помимо основного содержания диссертации можно отметить ясную структуру диссертационной работы, наличие идейной связанности излагаемого материала, а также исчерпывающий обзор литературы.

### **Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна работы заключается в том, что на основе геометрии специальным образом расширенного пространства построен теоретико-полевой формализм, ковариантный по отношению к особой симметрии  $M$ -теории –  $U$ -дуальности. 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 на примере негеометрических компактификаций. Предложенный алгоритм неабелевой  $U$ -дуальности и метод три-векторных деформаций являются новыми и позволяют

генерировать новые самосогласованные фоновые полевые конфигурации в М-теории.

### **Научно-практическая значимость работы**

Построенный в диссертации ковариантный формализм позволяет ставить задачи в теории струн и в М-теории на теоретико-полевым уровне и решать их стандартными алгебраическими и геометрическими методами. В частности, явные выражения для тензора погружения в терминах твистовых матриц позволяют строить схемы негеометрических размерных редукций одиннадцатимерной супергравитации, в том числе, т. н. истинно негеометрические, описание которых в рамках стандартной супергравитации недоступно. Такие редукции представляют особый интерес в контексте построения струнных космологических моделей, в частности, в задаче стабилизации модулей.

Полученные в диссертации Т-ковариантные эффективные действия для экзотических и стандартных бран теории струн описывают динамику фундаментальных объектов, генерирующих негеометрические фоновые пространства. Предложенный подход при помощи Т-ковариантных тождеств Бьянки, включающих калибровочные поля смешанной симметрии, позволяет рассматривать модели струнных компактификаций на экзотические ориентифолды и рассматривать более общие условия сокращения диаграмм типа «головастик». Такие схемы редукции являются самосогласованными на однопетлевом уровне, включают негеометрические браны и соответствующие заряды и, соответственно, расширяют возможности построения струнных космологических моделей.

Предложенный в диссертации формализм, обобщающий би-векторные янг-бакстеровы деформации на деформации, параметризованные три-векторами, оказывается исключительно интересным в контексте генерации новых решений уравнений 11-мерной супергравитации, позволяя рассматривать более широкий класс деформаций заданных суперконформных теорий. Построенный формализм исключительной теории поля позволяет ковариантным образом описывать массовую матрицу для возмущений над

деформированным фоном, а следовательно, получать информацию о конформных размерностях в деформированной дуальной теории.

### **Личный вклад автора**

Вклад Мусаева Э. Т. во всех результатах, полученных в соавторстве, является определяющим, как при формулировке задач, так и при поиске их решения. Тексты публикаций написаны либо лично, либо при непосредственном участии соискателя.

В ходе защиты соискатель Мусаев Э.Т. полно и аргументированно ответил на заданные ему вопросы, а также на замечания ведущей организации и официальных оппонентов.

На заседании 25 марта 2024 года диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в теоретической физике, присудить Мусаеву Э.Т. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **12** человек, из них **11** докторов наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за **11** против **0**, недействительных бюллетеней **1**.

Председатель диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент Российской академии наук

Арсеев Петр Иварович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук

Чернышов Дмитрий Олегович

25 марта 2024 г.