

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
№ 24.1.128.01 (Д 002.207.ХХ), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМ. Л.Д. ЛАНДАУ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №

решение диссертационного совета от 30.01.2026 № 1

О присуждении Еремину Борису Андреевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Зеркальная симметрия многообразий Калаби-Яу и $N=2$ суперконформные двумерные теории поля» по специальности 1.3.3 – теоретическая физика принята к защите 14.11.2025 (протокол заседания № 9) диссертационным советом № 24.1.128.01 (Д 002.207.ХХ), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук по адресу 142432, Московская обл., г. Черноголовка, пр-т акад. Семенова, д. 1А приказом № 1309/нк от 22.06.2023.

Соискатель Еремин Борис Андреевич, 04.05.1997 года рождения. В 2021 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика. В 2025 г. окончил очную аспирантуру МФТИ по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия. Работает младшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН).

Диссертация выполнена в Физтех-кластере академической и научной карьеры (Квантовая теория поля, теория струн и математическая физика) Федерального государственного автономного образовательного учреждения

высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Белавин Александр Абрамович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау Российской академии наук, сектор квантовой теории поля, главный научный сотрудник.

Диссертация представлена к защите впервые.

Официальные оппоненты:

1. Зотов Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук, Москва, Отдел теоретической физики, ведущий научный сотрудник;

2. Кривонос Сергей Олегович, доктор физико-математических наук, Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, начальник Отдела современной математической физики дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт имени П.Н.Лебедева Российской Академии наук, Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Васильевым Михаилом Андреевичем, док. физ-мат. наук, член.-корр. РАН, высококвалифицированным главным научным сотрудником Лаборатории квантовой теории поля, указала, что диссертация представляет собой законченную научную работу, выполненную на высоком уровне по важной и актуальной для фундаментальной физики тематике. Результаты, полученные в диссертации, представляют значительный интерес в контексте исследования зеркальной симметрии, геометрии многообразий Калаби-Яу и моделей конформной теории поля. В диссертации рассматриваются реализации

зеркальной симметрии для случая орбифолдов гиперповерхностей типа Берглунда-Хубша, образующих широкий класс многообразий Калаби-Яу, определяемых во взвешенных проективных пространствах. Для этого класса орбифолдов Калаби-Яу соискатель показывает эквивалентность подходов Батырева и Берглунда-Хубша-Кравица (БХК) к построению зеркально дуальных геометрий. Результат построения зеркального двойника в рамках конструкции Батырева применяется для установления двойственности между многообразиями Калаби-Яу и суперсимметричными калибровочными линейными сигма-моделями. Важную роль в диссертации играют двумерные $N=(2,2)$ суперсимметричные конформные теории поля (СКТП), возникающие как компактный сектор в теории струн. В рамках диссертации разработан эффективный подход к построению спектра локальных полей в этих моделях, а также исследована реализация зеркальной симметрии на уровне конформных теорий поля.

Краткими результатами работы являются следующие:

1. Получено уравнение, определяющее, согласно конструкции Батырева, зеркальное многообразие к орбифолду гиперповерхности Калаби-Яу типа Берглунда-Хубша. Показана эквивалентность подходов зеркальной симметрии БХК и Батырева для рассматриваемого класса многообразий Калаби-Яу.
2. Установлено соответствие между специальным классом орбифолдов Калаби-Яу X и $N=2$ суперсимметричными калибровочными линейными сигма-моделями. Проверена зеркальная версия гипотезы о равенстве статистической суммы КЛСМ Y и экспоненты кэлера потенциала метрики на пространстве модулей комплексных структур Калаби-Яу X .
3. Разработан метод построения спектра взаимно локальных полей для моделей суперконформной теории поля, которые представляют собой орбифолды произведений $N=2$ минимальных моделей типа ADE. Построены зеркально двойственные модели. Доказан изоморфизм пространств состояний исходной и зеркальной модели.

Соискатель Еремин Б.А. имеет 6 опубликованных работ.

Основные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях в журналах, индексируемых Web of Science:

1. A. Belavin and B. Eremin. On the equivalence of Batyrev and BHK mirror symmetry constructions // Nuclear Physics B, 2020, 961, 115271;
2. A. Belavin and B. Eremin. Mirror pairs of Quintic orbifolds // JETP Letters, 2020, 112, 6, 370–375;
3. A. A. Belavin and B. A. Eremin. Multiple mirrors and the JKLMR conjecture // Theoretical and mathematical physics, 2022, 213, 1, 1441–1452;
4. A. Belavin and B. Eremin. Partition Functions of $N = (2, 2)$ Supersymmetric Sigma Models and Special Geometry on the Moduli Spaces of Calabi-Yau Manifolds // Theoretical and mathematical physics, 2019, 201, 2, 1606-1613;
5. A. Belavin, B. Eremin and S. Parkhomenko. Review on Special Geometry and Mirror Symmetry for Calabi-Yau Manifolds (Brief Review) // JETP Letters, 2023, 118, 10, 701-709.

Диссертационный совет подтверждает, что все основные положения и выводы диссертации содержатся в опубликованных по теме диссертации работах. Автореферат передает содержание диссертации с достаточной полнотой.

На диссертацию и автореферат поступили только положительные отзывы. В них отмечается актуальность работы, важность полученных научных результатов и их новизна. В отзывах оппонентов и ведущей организации отмечаются следующие замечания:

1. Прежде всего, в работе практически полностью отсутствует обсуждение возможных физических приложений полученных результатов к построению реалистических моделей физики частиц, что, в конечном счете, и является основной мотивацией изучения многообразий Калаби-Яу в рамках теории суперструн. Было бы

полезно, в частности, более подробно обсудить какие из рассмотренных моделей могут иметь отношение к построению моделей элементарных частиц (например, с точки зрения числа поколений), а какие нет. В частности, подобное обсуждение было бы уместно в конце первого абзаца на стр. 9.

2. В обсуждении ниже (4.6) утверждается, что: «С точки зрения алгебры Вирасоро, пространство состояний нашей теории будет раскладываться в сумму неприводимых представлений.» Строго говоря, это неверно для неразложимых представлений, которые часто появляются в конформной теории, и, в частности, в диссертационной работе в контексте важного анализа расширения области допустимых параметров, обсуждаемого на стр. 75. К сожалению, форма описание этой конструкции недостаточно прозрачна. В частности, не прояснена связь ограничений на параметры с требованием унитарности.
3. Стоило бы уточнить смысл символа эквивалентности в формуле (2.3). Идет ли речь об изоморфизме метрических пространств или о чем-то еще?
4. На стр. 14 содержится неточное высказывание, что вакуумные средние полей равны нулю, в то время как было лишь показано, что средние значения их вариаций равны нулю.
5. Диссертационная работа содержит ряд опечаток и мелких неточностей. Так формула (1.2) на стр. 13, написанная без конкретизации формы кинетического члена, содержит неправильный знак перед потенциалом. В определении групп когомологий в (1.27) не объяснен (впрочем, вполне стандартный) смысл индекса g . В формуле (2.9) неудачное обозначение для индекса суммирования во втором равенстве. В начале раздела 4.1 говорится, что теория поля в двумерии является конформной, если тензор энергии-импульса имеет нулевой след. Это верно не только в двумерии, но и произвольной размерности.
6. Во многих местах не хватает ссылок на оригинальные работы,

лежащие в основе рассмотрения в рамках диссертации. В частности, это относится к пункту 5 на стр. 6 основных положений, выносимых на защиту, где хорошо было бы дать ссылку на источник, в котором были рассмотрены упоминающиеся «аналогичные уравнения для минимальных моделей с инвариантами типа А». На той же странице 6 в разделе Актуальность, было бы уместно привести ключевые ссылки после слов «активно изучается как физиками, так и математиками», а на стр. 16 не помешала бы ссылка на важную работу Ньюландера и Ниренберга. На стр. 28 стоило бы дать ссылку на литературу, в которой были получены важные формулы (2.11), а на стр. 60 на формулу (3.56).

7. Задачи, поставленные и решенные в диссертации, требуют для понимания весьма серьезную математическую подготовку. Поэтому было бы уместно в конце наиболее важных разделов добавить пояснения, более понятные для широкого круга читателей, относительно значимости и приложений полученных результатов для других разделов теоретической физики. В частности, было бы крайне полезно пояснить в чем важность установленной в диссертации эквивалентности двух подходов к построению зеркальных двойников для многообразий Калаби-Яу.

В отзывах указано, что перечисленные вопросы и замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы Еремина Б.А. и не влияют на общую высокую оценку диссертации как законченной и актуальной научно-квалификационной работы, имеющей научную новизну и практическую значимость.

На все поступившие вопросы и замечания соискателем даны исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются высококвалифицированными физиками-теоретиками в таких областях как квантовая теория поля, суперсимметрия, интегрируемые системы и конформная теория поля, что подтверждается списками их публикаций в

соответствующих журналах: Кривонос С.О. является признанным специалистом в области теоретической физики, включая суперсимметрию и конформные теории поля (публикации в журналах “Physics Letters B”, “Physical Review D”, “Journal of High Energy Physics”, “Journal of Mathematical Physics”); Зотов А.В. является специалистом в области интегрируемых систем и квантовой теории поля (публикации в журналах “Nuclear Physics B”, “Письма в ЖЭТФ”, “Теоретическая и математическая физика”, “Journal of High Energy Physics”).

Выбор ведущей организации определяется тем, что она является признанным научным центром теоретической физики в областях квантовой теории поля, теории струн и конформной теории поля.

Диссертационный совет отмечает, что совокупность выполненных соискателем исследований Б.А. Еремина является квалифицированной и самостоятельной научной работой и удовлетворяет всем требованиям обоснованности, новизны и значимости, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

В диссертации исследованы различные конструкции зеркального партнера для многообразий Калаби-Яу, возникающих как компактные измерения в теории струн. Показана эквивалентность конструкций зеркальной симметрии Берглунда-Хубша-Кравица и Батырева. Изучена двойственность между многообразиями Калаби-Яу и двумерными суперсимметричными калибровочными линейными сигма-моделями. Исследованы модели суперконформной теории поля с центральным зарядом $c=9$, возникающие как компактный сектор теории суперструн. Таким образом, тематика диссертации соответствует пункту 1 паспорта специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Научное значение диссертации, в частности, её значимость для теоретической физики, состоят в следующем.

1. Для многообразий Калаби-Яу типа Берглунда-Хубша впервые явно получено уравнение, определяющее зеркального двойника согласно

конструкции Батырева. Доказана эквивалентность конструкций зеркальной симметрии Батырева и Берглунда-Хубша-Кравица для данного класса многообразий Калаби-Яу.

2. Проверена зеркальная версия гипотезы о равенстве метрики на пространстве модулей многообразий Калаби-Яу и статистической суммы двумерной $N=2$ суперсимметричной калибровочной линейной сигма-модели на сфере для специального типа многообразий Калаби-Яу.
3. Построен спектр локальных полей в моделях $N=2$ суперконформной теории поля с центральным зарядом $c=9$, которые реализованы как орбифолды произведений минимальных моделей типа ADE. Исследована зеркально-двойственная модель орбифолда. Показано, что пространства состояний исходной и зеркальной моделей эквивалентны.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики состоит в открытии возможности построения феноменологически обоснованной теории супергравитации с тремя поколениями заряженных частиц, так как компактный сектор таких теорий может быть реализован как орбифолд произведения минимальных моделей ADE типов. Зеркальная симметрия, исследованная в диссертации, позволит вычислять метрику, которая явно входит в кинетический член лагранжиана низкоэнергетической теории супергравитации.

Полученные результаты могут быть использованы при исследовании конформных теорий поля, зеркальной симметрии, теории струн и калибровочных теорий. Подход, разработанный в диссертации, позволит находить спектр физических состояний в моделях теории струн типа IIIA и IIIB, а также в гетеротической теории струн.

Достоверность полученных результатов обеспечивается строгостью и корректностью математических доказательств и рассуждений, публикациями в ведущих рецензируемых научных изданиях, а также апробацией результатов на конференциях и семинарах.

Все результаты, приведённые в данной диссертационной работе, получены лично автором или при его непосредственном участии. Полученные в диссертации результаты и развитые в ней методы рекомендуется использовать в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Математическом институте им. В.А. Стеклова РАН, Объединенном институте ядерных исследований.

В ходе защиты диссертации были заданы вопросы, на которые Б.А. Еремин дал исчерпывающие ответы и высказан ряд пожеланий для дальнейшей работы. Критических замечаний высказано не было.

На заседании 30.01.2026 диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития объединенных теорий фундаментальных взаимодействий, присудить Еремину Борису Андреевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 14 докторов наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали:

за - 13, против - 0 недействительных бюллетеней -1.

Председатель

диссертационного совета № 24.1.128.

член-корр. РАН

В.В. Лебедев

Ученый секретарь

диссертационного совета № 24.1.128.01

доктор физ.-мат. наук

В.Э. Адлер

30 января 2026 г.

М.П.

