

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

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 20 мая 2024 года № 26

О присуждении Ланиной Елене Николаевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Симметричный подход к изучению петель Вильсона в трехмерной теории Черна–Саймонса» по специальности 1.3.3 — Теоретическая физика принята к защите 12 февраля 2024 года (протокол заседания № 20) 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), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Ланина Елена Николаевна, 16 апреля 1998 года рождения, в 2021 году окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ, Физтех) по специальности «Прикладные математика и физика». С 2021 года обучается в аспирантуре МФТИ по направлению «Физика и астрономия». Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана МФТИ в 2023 году. С 2021 г. работает в федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»» в должности младшего научного сотрудника в

лаборатории методов математической физики Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики и в МФТИ в должности младшего научного сотрудника в лаборатории математической и теоретической физики.

Диссертационная работа Е.Н. Ланиной выполнена в МФТИ.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, Слепцов Алексей Васильевич, старший научный сотрудник лаборатории методов математической физики Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт».

Официальные оппоненты:

1. Исаев Алексей Петрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории теоретической физики международной межправительственной научно-исследовательской организации «Объединенный институт ядерных исследований», профессор.
2. Ландо Сергей Константинович, доктор физико-математических наук, профессор факультета математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», заведующий Международной лабораторией кластерной геометрии.

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук» (ИТФ им. Ландау РАН), Московская область, город Черноголовка, в своем положительном отзыве, составленном научным сотрудником ИТФ им. Ландау РАН, кандидатом физико-математических наук Пархоменко Сергеем Евгеньевичем, подписанном кандидатом химических наук, Крашаковым Сергеем Александровичем, ученым секретарем ИТФ им. Ландау РАН, и утвержденном доктором физико-математических наук, доцентом Колоколовым Игорем Валентиновичем, директором ИТФ им. Ландау

РАН, указала, что диссертация удовлетворяет требованиям, изложенным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 3 работы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем Е.Н. Ланиной работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. E. Lanina, A. Sleptsov, N. Tselousov. Implications for colored HOMFLY polynomials from explicit formulas for group-theoretical structure // Nuclear Physics B, 974, 115644 (2022).
2. E. Lanina, A. Morozov. Defect and degree of the Alexander polynomial // The European Physical Journal C, 82 (11), 1022 (2022).
3. E. Lanina, A. Sleptsov. Tug-the-hook symmetry for quantum b<sub>j</sub>-symbols // Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics, 845, 138138 (2023).

Выбор Исаева Алексея Петровича в качестве оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области квантовой теории поля и теории интегрируемых систем.

Выбор Ландо Сергея Константиновича в качестве оппонента обоснован его высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в маломерной топологии, в частности в теории инвариантов узлов.

Выбор ведущей организации обоснован тем, что ИТФ им. Ландау РАН является одним из ведущих научных институтов в области теоретической физики в Российской Федерации.

Диссертационная работа Ланиной Е.Н. посвящена исследованию калибровочно инвариантных наблюдаемых в трехмерной топологической теории Черна–Саймонса и связанных с ней квантовых инвариантов узлов и квантовых б<sub>j</sub>-символов.

Актуальность данной работы обусловлена рядом важных интересных явлений в трехмерной теории Черна–Саймонса. Особый интерес представляет тот факт, что петли Вильсона в трехмерной теории Черна–Саймонса можно вычислить точно для любого контура интегрирования и для любого представления калибровочной группы. Другой важной особенностью данной теории является ее соответствие с двумерной моделью Весса–Зумино–Новикова–Виттена, которое является одним из первых примеров AdS/QFT соответствия. Помимо перечисленного теория Черна–Саймонса связана с рядом других сюжетов теоретической и математической физики, например, с теорией узлов, квантовыми компьютерами и топологическими струнами. Поэтому развитие подходов к изучению наблюдаемых в теории Черна–Саймонса ведет к открытиям в смежных областях.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Приведен метод построения групповых факторов петель Вильсона в трехмерной теории Черна–Саймонса с калибровочной группой  $SU(N)$  и с контуром интегрирования в виде произвольного узла – цветных (раскрашенных представлением  $sl(N)$ ) полиномов узлов ХОМФЛИ, в любом порядке пертурбативного разложения с использованием соображений симметрий. Найдены аналитические формулы для мультипликативного базиса групповой структуры полинома ХОМФЛИ для любого ранга алгебры  $sl(N)$  и для ее произвольного представления  $R$ ; найдены сами групповые факторы вплоть до 13 уровня пертурбативного разложения. Сформулирована гипотеза о том, что групповая структура цветных полиномов ХОМФЛИ полностью фиксируется известными для них симметриями.

2. Из квантовых инвариантов узлов – цветных полиномов ХОМФЛИ, получены инварианты Васильева выше 6 порядка с использованием найденного базиса групповых факторов. Метод применен к вычислению инвариантов Васильева узла  $3_1$  до 11 порядка включительно и узла  $5_2$  до 10 порядка включительно.

3. Обсуждено обобщение групповой структуры полиномов ХОМФЛИ на все полупростые алгебры Ли с использованием параметризации П. Вожеля. Установлено, что весовые системы всех простых алгебр Ли не различают два групповых фактора на шестом уровне.

4. Предложен новый метод нахождения рекурсивных соотношений для цветных полиномов ХОМФЛИ, также называемых квантовыми А-полиномами. Приведен пример нахождения рекурсивных соотношений для симметрических полиномов Джонса двунитевых торических узлов  $T[2, 2k+1]$ .

5. Обнаружено существование новой симметрии цветного полинома Александера. Предъявлена аналитическая деформация половины групповых факторов цветных полиномов Александера в групповые факторы полиномов ХОМФЛИ. Обобщено однокрюковое скейлинговое соотношение цветного полинома Александера на случай произвольного представления.

6. Доказана гипотеза о связи дефекта дифференциального разложения цветного полинома ХОМФЛИ со степенью фундаментального полинома Александера. Обсуждена полнота целочисленных параметров симметрических полиномов Александера. В случае нулевого дефекта найдено, что все целые значения реализуются уже для семейства твистованных узлов. Получены следствия для гипотезы о сохранении дефекта при антипараллельной эволюции. Вычислены С-полиномы для симметрических полиномов Александера. В случае узлов нулевого дефекта набор данных С-полиномов является полным. Найдены соотношения на коэффициенты дифференциального разложения цветных полиномов Александера в случае однокрюковых представлений вне симметрических.

7. Доказана симметрия "тяги-крюк" цветных полиномов ХОМФЛИ в случае узлов. Сформулирована гипотеза о наличии симметрии "тяги-крюк" у полиномов ХОМФЛИ в случае зацеплений. Приведены конкретные примеры и аргументы в пользу справедливости симметрии "тяги-крюк" квантовых  $b_j$ -символов для нетривиальных случаев представлений с кратностями, что подтверждает гипотезу о собственных значениях.

Все результаты, представленные автором, являются новыми. Ключевой вклад автора состоит в использовании симметричных соображений для исследования групповой структуры и различных свойств петель Вильсона в трехмерной теории Черна–Саймонса. Благодаря этому удалось развить новый взгляд на поставленные цели и задачи. Результаты диссертации вытекают из дальнейшей разработки и применения автором этого метода.

Значение результатов и их научная значимость обусловлены возможностью их использования как при дальнейших исследованиях теории Черна–Саймонса, так и при изучении связанных областей теоретической и математической физики. Так, зная групповую структуру пертурбативного разложения петель Вильсона, можно исследовать их, в том числе непертурбативные, свойства. Например, уже в диссертации было показано, как использовать явные выражения для групповых факторов, чтобы найти соотношения, связывающие петли Вильсона для калибровочных полей в различных представлениях. Полученные в диссертации результаты также позволяют продвинуться в изучении инвариантов узлов, в том числе, вычислять инварианты Васильева старших порядков, при помощи которых можно различать особый класс узлов-мутантов. Другой результат диссертационной работы касается симметрии «тяги-крюк» петель Вильсона и квантовых  $b_j$ -символов. Он важен тем, что позволяет вычислять петли Вильсона и  $b_j$ -символы для крайне нетривиальных сложных представлений, включая случаи с вырождением.

Высокая степень достоверности приведенных в работе выводов и научных положений подтверждается возможностью непосредственной проверки приведенных автором вычислений, сравнением их с известными

ранее результатами, изложением работы на семинарах и конференциях, а также использованием другими научными коллективами результатов автора для получения новых результатов.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Ланиной Е.Н., получены лично автором либо при его непосредственном участии. Анализ и интерпретация полученных результатов, подготовка материалов к опубликованию производилась в сотрудничестве с соавторами.

В ходе защиты соискатель Ланина Е.Н. аргументированно ответила на заданные ей вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 20 мая 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Е.Н. Ланиной учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научных задач по изучению различных свойств корреляторов в теории Черна–Саймонса, по исследованию их групповой структуры и симметрий.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве **13** человек, из них **12** докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.3 – Теоретическая физика), участвовавшие в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени – **13**,  
против присуждения учёной степени – **0**,  
недействительных бюллетеней – **0** .

Председатель диссертационного  
совета член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Арсеев Пётр Иварович

Учёный секретарь диссертационного совета  
к.ф.-м.н.

Чернышов Дмитрий Олегович

20 мая 2024 г.