



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ОИЯИ

Академик РАН, д.ф.-м.н.

Г.В. Трубников

«13» июля 2021 г.

## ОТЗЫВ

*ведущей организации на диссертацию Алкалаева Константина Борисовича «Бесконечномерные симметрии и AdS/CFT соответствие в моделях теории поля», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.*

Диссертационная работа К.Б.Алкалаева посвящена поиску решения одной из интереснейших задач современной теоретической и математической физики, а именно построению моделей элементарных физических объектов - частиц с произвольными симметричными свойствами - как неотъемлемых составляющих единой теории фундаментальных взаимодействий, включая гравитационное. В диссертации предлагаются и изучаются модели квантовой теории поля с бесконечномерными симметриями, включая симметрии высших спинов и конформную симметрию Вирасоро. Важность и актуальность этих исследований связана с фундаментальной ролью симметрий различного типа при построении моделей квантовой гравитации в контексте AdS/CFT соответствия.

Объединяющим элементом проведенных в диссертации исследований является гипотеза голографической дуальности, или в более конкретной реализации, AdS/CFT соответствие между теориями на пространстве AdS и граничными конформными теориями CFT на пространстве Минковского. Класс рассматриваемых фундаментальных вопросов, связан, в первую очередь, с поведением дуальных теорий в двух и более размерностях с бесконечномерными симметриями на классическом и на квантовом уровнях. Среди теорий такого типа находятся конформная теория поля, теория гравитации с космологическим членом, а также специальные теории гравитации с полями высших спинов.

Изучение моделей с бесконечными симметриями в контексте AdS/CFT соответствия позволило автору детально развить следующие направления:

- Исследование динамики полей с высшими спинами и смешанным типом симметрии.

Здесь были построены ранее неизвестные суперсимметричные теории полей высших спинов типа «крюк» (частицы с двумя спиновыми числами) в пространстве AdS<sub>5</sub> с бесконечномерной алгеброй симметрией Фрадкина-Линецкого.

- Исследование динамики полей с высшими спинами в двумерном пространстве AdS<sub>2</sub>.

Автором впервые последовательно сформулирована и изучена двумерная теория высших спинов. Важной чертой предлагаемой теории является наличие бесконечного спектра массивных скалярных мод, взаимодействующих посредством бесконечной башни топологических полей высших спинов, что является характеристической особенностью многомерных теорий высших спинов. С другой стороны, дана аргументация, почему такие модели могут реализовывать дуальное описание моделей типа SYK квантовых случайных взаимодействий.

- Квазиклассическое AdS<sub>3</sub>/CFT<sub>2</sub> соответствие.

На уровне теоремы доказано соответствие CFT<sub>2</sub> конформных блоков в режиме большого центрального заряда геодезическим графам в пространстве AdS<sub>3</sub> с дефектами. Данный эффект является модельно-независимым и поэтому имеет универсальный характер для всех вовлеченных AdS<sub>3</sub>/CFT<sub>2</sub> дуальных теорий.

Диссертация состоит из Введения, шести глав и заключения, шести приложений, содержит список цитируемой литературы из 378 наименований. Полный объем диссертации составляет 392 страницы.

Введение посвящено обсуждению исследований AdS/CFT соответствия в контексте моделей безмассовых и массивных частиц произвольного спина теорий с бесконечномерными пространственно-временными симметриями. Детально перечисляются цели и задачи исследования и отмечается актуальность решаемых проблем. Дано краткое описание содержания и приведены основные результаты диссертации.

Целью первой главы является построение модели FV (Fradkin-Vasiliev) типа, описывающей симметричные и несимметричные безмассовые поля в пространстве AdS<sub>5</sub>, взаимодействующие друг с другом и гравитацией в кубическом приближении. Анализируется динамика на свободном уровне, после чего развивается процедура построения кубических вершин с учетом глобальных (супер)симметрий и калибровочной инвариантности, следующих из структуры калибровочной супералгебры высших спинов. Рассматриваются две модели, симметрии которых отвечают исходной и редуцированной N=2 супералгебрам высших спинов Линецкого—Фрадкина.

Вторая глава посвящена описанию динамики свободных калибровочных полей на пространствах Минковского и анти-де Ситтера в рамках БРСТ подхода. Ключевым элементом конструкции является дуальность Хау ортогональных и симплектических алгебр, которая используется для описания (бес)конечномерных представлений алгебры Пуанкаре и алгебры анти-де Ситтера  $o(d-1,2)$ . Показывается (динамическая) эквивалентность предложенной БРСТ формулировки развернутому формализму полей высших спинов, а также подходу Лабастиды. Предложенная конструкция обобщается на безмассовые поля непрерывного спина и произвольного типа симметрии. В завершающей части главы развивается производящая формулировка (частично-)безмассовых AdS полей.



Третья глава посвящена рассмотрению голографического соответствия для несимметричных полей типа «крюк». Развивается общий формализм несимметричных сохраняющихся токов и явно строятся сохраняющиеся токи из двух безмассовых спинов на пространстве Минковского и их производных, умноженных на элементы алгебры Клиффорда. Детально разрабатывается GKPW (Gubser-Klebanov-Polyakov-Witten) процедура для простейшего безмассового AdS поля типа «крюк», в результате чего явно находится 2-точечный коррелятор соответствующих примарных операторов. Строится действие для конформных полей типа «крюк» путем отождествления с сингулярной частью ядра эффективного действия в чётных граничных размерностях.

В четвертой главе строится двумерная топологическая и динамическая теория высших спинов. Задается алгебра высших спинов и обсуждается ее разные реализации. Определяются и изучаются присоединенный и твистованный модули алгебры высших спинов, итогом чего является утверждение, что бесконечная башня массивных скалярных полей растущих масс реализует бесконечномерное представление (мультиплет) алгебры высших спинов. Показывается, что двумерную теорию высших спинов можно сформулировать на лагранжевом уровне, вводя действие BF типа с калибровочной алгеброй, являющейся либо исходной алгеброй высших спинов и тогда возникает топологическая теория гравитации высших спинов, обобщающая гравитацию Джакива-Тейтельбойма, либо с расширенной версией алгебры высших спинов и тогда возникает динамическая теория гравитации высших спинов, спектр локальных мод которой описывается бесконечной башней массивных скалярных полей.

Пятая глава посвящена изучению квазиклассического AdS<sub>3</sub>/CFT<sub>2</sub> соответствия конформных блоков на границе и дуальных графов в объеме. Используется понятие классических конформных блоков и описывается монодромный метод вычисления. Описываются дуальные графы мировых линий в объеме. На уровне теоремы показывается равенство функций конформных блоков и длин дуальных графов. Во второй части главы в качестве конформных блоков рассматриваются глобальные блоки на границе, в объеме фиксируется 3d гравитация Черна-Саймонса и графы, построенные из вильсоновских линий. Формулируется общий подход к описанию дуальности блоков и графов, подробно рассматривается случай торической граничной геометрии.

В шестой главе рассматриваются конформные блоки торической CFT<sub>2</sub> в пределе большого центрального заряда. Показывается, что различные пределы конформных весов приводят к глобальному, легкому, тяжело-лёгкому (heavy-light) и пертурбативному классическому блокам. Доказывается, что данные блоки связаны цепочками соотношений, соответствующих различным контракциям алгебры Вирасоро. Показывается, что пертурбативный n-точечный конформный блок CFT<sub>2</sub> на торе описывается как длина графа из геодезических линий типа «ожерелье» в трехмерном термальном пространстве AdS<sub>3</sub>.

В Заключении приведены основные результаты диссертации. Ряд технических вопросов вынесен в Приложения.

В целом, в диссертации получен ряд важных результатов, востребованных при изучении классических и квантовых аспектов моделей квантовой теории поля с бесконечномерными



симметриями, включая симметрии высших спинов и конформную симметрию Вирасоро. Важность и актуальность этих исследований связана с фундаментальной ролью симметрий различного типа при построении моделей квантовой гравитации в контексте AdS/CFT соответствия. Проведенные исследования вносят существенный вклад в развитие дуальных теорий в двух и более размерностях с бесконечномерными симметриями, активно изучаемых в настоящее время.

Среди наиболее важных и интересных результатов хотелось бы отметить следующие:

- построена теория, описывающая безмассовые AdS5 поля высших спинов смешанного типа симметрии;
- развит формализм несимметричных сохраняющихся токов, описываемых диаграммами Юнга с одной строкой и одним столбцом;
- описаны AdS/CFT соответствия для простейшего несимметричного безмассового AdS поля типа «крюк»;
- сформулирована двумерная гравитация высших спинов.

К сожалению, исключительно большой объем диссертации совместно с заметным количеством синтаксических ошибок затрудняет восприятие представленного материала. Кроме того, явные кальки с английского языка, такие как например «высшеспиновая гравитация», «высшеспиновые поля» звучат весьма странно. Более серьезное замечание касается условия на экстремала поля (1.62), которое в сущности выражает калибровочные поля с высшими спинами через производные полей с меньшим спином. Дело в том, что подобные соотношения для калибровочных теорий и теорий со спонтанным нарушением симметрий были получены много лет назад в работе Е.А.Иванова и В.И.Огиевского и названы Обратным эффектом Хиггса (Е.А. Ivanov and V.I. Ogievetsky, The inverse Higgs phenomenon in nonlinear realizations, *Teor. Mat. Fiz.* 25 (1975) 164 ). Было бы крайне интересно установить связь между условиями (1.62) и Обратным эффектом Хиггса, особенно имея ввиду ясный геометрический смысл последнего.

Приведенные замечания никак не влияют на общую высокую оценку диссертации.

Материалы диссертации опубликованы в ведущих научных журналах таких как *Journal of High Energy Physics*, *Nuclear Physics B*, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, и многократно докладывались на международных научных конференциях. Полученные при выполнении диссертации результаты несомненно найдут применение в исследованиях по теоретической физике высоких энергий, квантовой теории поля, суперсимметрии и теорий суперструн в целом ряде научных и образовательных учреждений. Прежде всего, в Физическом институте им. П.Н. Лебедева, Объединенном институте ядерных исследований, Институте теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, Институте теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова, Институте физики высоких энергий, Томском государственном педагогическом университете, и в других российских научных центрах.

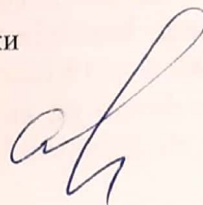
Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на семинаре отдела Современной математической физики Лаборатории теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова ОИЯИ 1 июля 2021 года. Отзыв одобрен на заседании научно-технического совета ЛТФ 08 июля 2021 года.

Диссертация К.Б. Алкалаева «Бесконечномерные симметрии и AdS/CFT соответствие в моделях теории поля» отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, а ее автор, Алкалаев Константин Борисович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв составил:

Начальник отдела Современной математической физики  
Лаборатории теоретической физики  
им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ  
доктор физико-математических наук



С.О.Кривонос

e-mail: [krivonos@theor.jinr.ru](mailto:krivonos@theor.jinr.ru)  
тел.: +7 49621 63394

Подпись С.О. Кривоноса «удостоверено»

Ученый секретарь ЛТФ ОИЯИ,  
Кандидат физико-математических наук



А.В.Андреев

Сведения о ведущей организации:

Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, ул. Жолио-Кюри, 6, г. Дубна, Московская обл., Россия

Телефон: +7 (496) 216-50-59

E-mail: [post@jinr.ru](mailto:post@jinr.ru)