

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Ирины Ярославны Арефьевой 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.

Диссертация К.Б. Алкалаева посвящена изучению различных теоретико-полевых моделей в контексте голографической дуальности, также называемой AdS/CFT соответствием. Интерес к изучению голографической дуальности связан прежде всего с тем, что на основе этой дуальности удается предсказать характер поведения моделей в режиме сильной связи, а также поведение моделей, близких к моделям с конформной симметрией. Это прежде всего поведение в окрестности фазовых переходов. Отсюда и интерес к изучению этой дуальности в физике высоких энергий, а также в физике конденсированного состояния. Спектр явлений, описание которых дает голографический подход, очень широк – от явления удержания кварков в КХД и предсказаний структуры фазовых переходов в кварк-глюонной плазме до вычислений проводимости сверхпроводящих сред, а также явлений связанных с квантовым хаосом, и прояснением вопроса о потере информации при Хокинговском излучении черных дыр. Следует сказать, что голографическая дуальность в общем случае это гипотеза, которую можно доказать лишь на отдельных примерах. Иными словами можно сказать, что голографическая дуальность является своеобразным феноменологическим методом. При этом изучение отдельных случаев, когда эту дуальность удается точно обосновать, представляет бесспорный интерес. Один из таких плодотворных примеров представляют собой теория с бесконечномерными пространственно-временными симметриями. В диссертационной работе изучены частные теории данного типа в различном числе измерений. Полученные при этом результаты важны для прояснения устройства голографии, что в дальнейшем приведет к развитию ряда направлений, особенно двумерной конформной теории и теории полей высших спинов.

Естественной лабораторией для обсуждения указанных выше вопросов является, соответствие между двумерной конформной теорией поля (CFT2) и трехмерной гравитационной теорией с ненулевой космологической постоянной (AdS3), так называемое например, AdS3/CFT2. Особый интерес тут представляет режим большого центрального заряда, что соответствует квазиклассическому режиму гравитации и это, в свою очередь, позволяет проводить явные вычисления многих физических величин. Существенная часть диссертации посвящена изучению составляющих корреляционных функций CFT2, так называемых конформных блоков, и их дуальных голографически аналогов - длин геодезических графов, натянутых в пространстве AdS3. Здесь автором получены несколько важных результатов о структуре конформных блоков, в том числе на разных топологиях двумерной конформной границы, сферической и торической. Например, доказана теорема, что n -точечные конформные блоки в режиме большого центрального заряда вычисляются

длину специального дуального геодезического графа на пространстве AdS3 с коническими дефектами.

Другим важным направлением, разрабатываемым в диссертации является изучение теорией высших спинов, которые по построению обладают бесконечномерной калибровочной симметрией. Например, автором было показано, что в пространстве размерности два кроме традиционных CFT2 с симметрией Вирасоро существует специальная теория высших спинов с динамическими степенями свободы, описываемых бесконечной башней массивных скалярных полей, взаимодействующих посредством топологических полей старшего ранга. Интересно, что такая теория, по всей видимости, имеет прямое отношение к голографически дуальному партнёру моделей типа SYK в одномерии, где наблюдается похожий бесконечный спектр.

Диссертация К.Б. Алкалаева состоит из введения, шести глав основного содержания и заключения, шести приложений с техническими деталями вычислений, содержит список цитируемой литературы из 378 наименований. Полный объем диссертации - 392 страницы.

Во введении приведено краткое содержание работы, сформулированы цели и задачи исследования, перечислены основные результаты. Кроме того, введение содержит краткое описание современного состояния научных исследований в области голографической дуальности в контексте теорий с бесконечномерными симметриями, а также обсуждение актуальности тематики значимости полученных результатов.

Первая глава посвящена построению $N=2$ суперсимметричной высшеспиновой гравитации, описывающей безмассовые AdS5 поля смешанного типа симметрии, которые взаимодействуют друг с другом и гравитацией в кубическом приближении. Здесь развивается процедура построения кубических вершин взаимодействия полей калибровочно-инвариантных относительно бесконечномерной алгебры высших спинов Линецкого-Фрадкина. Детально проанализирован спектр теории в зависимости от структуры калибровочной алгебры.

Во второй главе сформулирована производящая процедура описания релятивистских полей общего положения (энергия, дискретный/непрерывный спин, частичная безмассовость) на максимально-симметричных пространствах. Вся конструкция существенным образом опирается на использование методов теории представлений, когомологий и БРСТ техники. Демонстрируется, что уравнений движения и пространство состояний данного производящего подхода могут быть сведены к известным в литературе формулировкам релятивистских полей.

Третья глава посвящена формулировке и изучению AdS/CFT соответствия для несимметричных полей. Для этой цели подробно разрабатывается GKPW процедура в случае безмассового AdS поля типа «крюк» (простейший вариант несимметричного поля с двумя спинами равными 1 и 2). Посредством вычисления эффективного действия и анализа его структуры в зависимости от (не)четности размерности конформной границы находится 2-точечный коррелятор примарных полей. Детально анализируется трансмутация симметрий теории при переходе из объема на границу.

В четвертой главе формулирована гравитация высших спинов на пространстве AdS2 в контексте голографии. Здесь идентифицированы низкоразмерные аналоги стандартных многомерных структур в гравитации высших спинов: синглетон, алгебра высших спинов, калибровочные поля старшего ранга, поля материи. Анализ спектра показывает, что высшеспиновая гравитация в AdS2 — это теория бесконечного набора массивных скаляров с тонко подогнанными массами, взаимодействующих с бесконечным количеством топологических калибровочных полей.

В пятой главе изучается AdS3/CFT2 соответствия в пределе большого центрального заряда. Показано, что соответствующие конформные блоки с произвольным числом операторных вставок равны длинам специальных геодезических графов теории в объеме. Рассмотрение проводится для сферической и торической топологий конформной границы. Отдельно изучаются так называемые глобальные блоки на граничной CFT2 при выборе в объеме теории 3d гравитации в форме Черна-Саймонса. Дуальным объектом здесь является сеть вильсоновских линий, а глобальный блок вычисляет определенный матричный элемент соответствующего вильсоновского оператора.

Шестая глава посвящена изучению конформных блоки торической CFT2 в пределе большого центрального заряда и больших конформных размерностей. Вводится четыре типа предельных функций конформных блоков и показывается, что все они связаны между собой различными предельными соотношениями. Существенно новым моментом является введение так называемого легкого конформного блока характерного именно для торической топологии - такой тип блока отсутствовал в случае сферической CFT2. Также в данной главе развиваются различные схемы дуального описания предельных торических блоков.

В заключении перечисляются основные результаты, полученные в диссертации.

Считаю важным подчеркнуть, что диссертация К.Б. Алкалаева представляет собой законченное исследование с большим числом оригинальных результатов. Автору диссертации удалось решить ряд сложных и важных проблем текущей проблематики современной квантовой теории поля. Диссертация выполнена на высоком теоретическом и математическом уровне, что свидетельствует о высокой квалификации автора.

Список публикаций автора по теме диссертации составляет 20 работ, опубликованных в ведущих международных рецензируемых журналах. Эти результаты неоднократно докладывались на международных конференциях и семинарах, а также активно цитируются в современной литературе. Автореферат полно отражает содержание диссертации.

В качестве замечаний к диссертационной работе К.Б. Алкалаева, отмечу, что было бы интересно видеть обсуждения большего числа моделей, имеющих непосредственные физические применения. Тем не менее, данные замечания никак не влияют на высокую оценку диссертации.

Диссертация К.Б. Алкалаева «Бесконечномерные симметрии и AdS/CFT соответствие в моделях теории поля» отвечает всем требованиям, предъявляемым к

докторским диссертациям Положением о присуждении научных степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Алкалаев Константин Борисович, бесспорно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Отзыв составила:

Ведущий научный сотрудник,
доктор физико-математических наук, профессор

 И.Я. Арефьева

Математический институт им. В.А. Стеклова РАН
Россия, 119991 Москва, ул. Губкина, д. 8

тел. +7 (499) 941 01 87
email: arefeva@mi-ras.ru

Подпись И.Я. Арефьевой «удостоверяю»



Ученый секретарь МИАН,
Кандидат физико-математических наук С.А. Поликарпов
23 августа 2021 г.