

ОТЗЫВ

Официального оппонента доктора физико-математических наук Исаева Алексея Петровича на диссертацию Мелика Карапетяна **“Взаимодействующие теории высших спинов в плоских и AdS пространствах”**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.04.02 “Теоретическая Физика”**.

Калибровочные теории высших спинов являются весьма важной и быстро развивающейся областью современной теоретической физики. Будучи одной из интересных, сложных и математически насыщенных теорий, она вызывает интерес достаточно большого сообщества теоретиков на протяжении последних тридцати лет.

Калибровочные теории полей с высшими спинами содержат в своем спектре иерархию безмассовых спиновых частиц, включая калибровочные частицы со спином один и два, такие как фотон и гравитон. Подобные безмассовые моды с низшими спинами присутствуют также в теории (супер)струн, но остальная иерархия частиц с высшими спинами в теории (супер)струн имеет ненулевую массу. Поэтому калибровочные теории, описывающие безмассовые частицы высших спинов, являются теориями с более высокой симметрией, из которых, теоретически, возможно получить спектр теории струн посредством спонтанного нарушения симметрии. С другой стороны, наличие в теориях высших спинов высокой степени калибровочной симметрии и существование этих теорий одновременно в плоских и AdS пространствах, делает их удобным полигоном для изучения AdS/CFT соответствия.

Одной из важных проблем в линеаризованной теории высших спинов является пертурбативное построение взаимодействующих лагранжианов с различной степенью взаимодействия. Такие построения имеют смысл, как в плоском пространстве, так и в пространстве с постоянной отрицательной кривизной -- пространстве Анти-де-Ситтера (AdS). Часть этих проблем детально исследована и решена в данной диссертационной работе. А именно, в диссертации *построено кубическое самодействие в пространстве AdS и построен некоторый специальный случай локального взаимодействия четвертого порядка в плоском пространстве, которое в общем случае должно быть нелокальным.*

Кубическое взаимодействие полей с высшими спинами для плоского пространства было построено методом Нётер около 10 лет назад, однако точный вид кубического взаимодействия на пространстве AdS, выраженный с помощью ковариантных производных, все еще не был известен. Важность кубического взаимодействия связана с тем, что Нётеровская процедура для взаимодействия более высокой степени по полям, в общем случае, приводит к не локальности такого взаимодействия. Из всего вышесказанного следует актуальность исследований, представленных в диссертации.

Диссертация состоит из Введения, двух глав основного содержания, заключения и списка литературы.

В первой главе «Введение» автор дает некоторые общие понятия и методы, которые используются в следующих главах. В частности дается введение в теорию Фронсдала, излагается полиномиальная запись для работы с объектами высших спинов и представлена процедура Нетер, используемая в качестве пертурбативного метода для построения взаимодействия полей высших спинов.

Во второй главе автор строго определил процедуру радиальной редукции из плоского амбиентного пространства в искривлённое AdS пространство более низкой размерности. Это позволило построить явный вид основного члена кубического самодействия в пространстве AdS. В процессе выяснилось, что процедура очень сложна и нетривиальна из-за множества сложных рекуррентных уравнений, которые возникают во время редукции. Все необходимые рекуррентные соотношения были успешно решены, и был получен полный набор взаимодействующих членов, включая следы и дивергенции. Общие методы решения рекуррентных соотношений были разработаны с помощью программ аналитических вычислений, выполненных с помощью пакета «Wolfram Mathematica».

В третьей главе автор рассмотрел специальный случай локального взаимодействия четвёртого порядка. Оказалось, что в случае взаимодействия двух скалярных полей с двумя калибровочными полями высших спинов, взаимодействие может быть локальным, но для этого необходимо ввести дополнительное кубическое взаимодействие двух скаляров с калибровочным полем, описывающим частицы со спином шесть. Автор также рассмотрел коммутатор калибровочных преобразований симметричных тензорных полей четвертого ранга в линейном по полям порядке. Для изучения этой и подобных задач, автор адаптировал дополнительные пакеты «Wolfram Mathematica» для тензорных вычислений, что позволило справиться с этой сложной задачей более эффективно. В итоге была построена и дана классификация правой части коммутатора линейных калибровочных преобразований для тензоров четвертого ранга. Интересным фактом оказалось то, что в правой части возникли все возможные для данной теории калибровочные преобразования для симметричных тензоров. В частности, возникли члены, которые можно интерпретировать как симметрии калибровочных преобразований тензорных полей пятого и шестого ранга. Более того были обнаружены члены, соответствующие преобразованиям тензорных полей со *смешанной симметрией*, что является довольно интересным результатом. В целом эти результаты являются несомненным шагом вперед в понимании алгебры калибровочных симметрий в калибровочных теориях с высшими спинами.

Суммируя все вышесказанное, кратко сформулируем основные достижения данной диссертации.

- Были решены все необходимые рекуррентные соотношения, с помощью которых удалось довести до конца процедуру радиальной редукции главного члена кубического взаимодействия из $d + 2$ мерного пространства в $d + 1$ мерное

пространство с постоянной кривизной (AdS_{d+1}). В результате были построены все AdS_{d+1} поправки, включая следы и дивергенции. В итоге главный член взаимодействия *впервые* был успешно представлен в явном виде в AdS пространстве на языке ковариантных производных.

- Используя среду программирования “Wolfram Mathematica” были разработаны общие методы решения рекуррентных уравнений в отмеченной выше процедуре размерной редукции. Эти методы могут быть использованы для решения других рекуррентных уравнений в смежных задачах и областях.
- Было рассмотрено взаимодействие четвертого порядка между полем с высшим спином и скаляром. Используя процедуру Нётер для этого специального случая, был построен взаимодействующий Лагранжиан в физической калибровке.
- Был построен и проанализирован коммутатор линеаризованного калибровочного преобразования для поля с высшим спином. Проведена полная классификация правой части коммутатора. Как важный результат, можно считать обнаружение в правой части коммутатора членов, соответствующих преобразованиям с тензорным параметром со смешанной симметрией.
- С помощью языка программирования Wolfram Mathematica разработаны общие методы, позволяющие работать с симметричными тензорами высокого ранга с использованием полиномиальных обозначений, содержащих вспомогательное векторное пространство, облегчающее вычисления в теориях с высшими спинами.

Объем и качество диссертационной работы показывают, что автор обладает глубокими знаниями в области теоретической и математической физики.

Тем не менее, я хотел бы сделать некоторые замечания, связанные с диссертацией:

- 1) В диссертации, впервые, представлен в явном виде главный член кубического взаимодействия в AdS, со всеми поправками по кривизне, следами и дивергенциями. Было бы желательно увидеть такую же процедуру радиальной редукции для всех остальных членов взаимодействия, которые в принципе могут быть восстановлены из основного члена используя калибровочную инвариантность. В этом случае можно будет представить полное калибровочно-инвариантное взаимодействие в AdS на языке ковариантных производных.
- 2) Взаимодействие четвертого порядка между скалярами и полями с высшими спинами тоже построено в специальной физической калибровке. В принципе, оно тоже могло бы быть подвергнуто процедуре рас-калибровки, для получения полной калибровочно-инвариантной конструкции этого, специального, случая локального взаимодействия четвертого порядка.
- 3) В диссертации, при подсчете коммутатора линеаризованных преобразований, были обнаружены дополнительные калибровочные преобразования с параметром со смешанной симметрией индексов. Было бы очень интересно изучить и построить примеры более сложных взаимодействий четвертого

порядка, без двух скаляров, где эти смешанные симметрии могут возникнуть в явном виде симметрий Лагранжиана.

Указанные замечания, однако, никоим образом не снижают ценности полученных в диссертации результатов. Материал, представленный в диссертации, опубликован в ведущих международных журналах и докладывался на представительных международных конференциях. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Карапетяна Мелика «Взаимодействующие теории высших спинов в плоских и AdS пространствах» удовлетворяет всем требованиям ВАК РА для кандидатских диссертаций, а ее автор несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – "теоретическая физика".

Официальный оппонент,
заместитель директора Лаборатории теоретической физики
им. Н.Н. Боголюбова по научной работе,
Объединенный институт ядерных исследований,
доктор физико-математических наук, профессор
141980, г. Дубна, Московская область, ОИЯИ, ЛТФ
Тел. +7 49621 63024
e-mail: isaevap@theor.jinr.ru

А.П. Исаев

Подпись А.П. Исаева заверяю:
Ученый секретарь ЛТФ им. Н.Н. Боголюбова,
Объединенного института ядерных исследований,
кандидат физико-математических наук



12 августа 2022 г.

А.В. Андреев