

ОТЗЫВ

Официального оппонента, доктора физико-математических наук Юрия Михайловича Зиновьева, на диссертацию Анатолия Валериевича Корибута «Алгебра деформированных осцилляторов и спин-локальность в теории высших спинов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Исследование полей с высшими спинами представляет собой одно из актуальных направлений в области фундаментальных взаимодействий. С одной стороны такие теории представляют собой дальнейшее расширение моделей супергравитации, в надежде на то, что бесконечномерных симметрий окажется достаточно для того, чтобы справиться с расходимостями гравитации и построить перенормируемую или даже конечную квантовую гравитацию. С другой стороны важным вопросом является связь с теорией суперструн, спектр которой с необходимостью содержит бесконечное число массивных полей высших спинов. Наконец огромный интерес в последние годы вызывает так называемое АДС/КТП соответствие, в котором поля высших спинов возникают естественным образом.

При исследовании взаимодействий таких полей ключевую роль играют алгебры калибровочных симметрий. Поскольку в большинстве случаев (за исключением некоторых примеров в трех измерениях) спектр полей оказывается бесконечным, то и соответствующие (супер)алгебры также оказываются бесконечномерными. При этом корректное определение правил умножения в ассоциативной алгебре, а также определение подходящей скобки на роль коммутатора, которая определяет алгебру Ли, оказываются нетривиальными задачами.

Основным результатом в области теории высших спинов являются уравнения Васильева. Одна из нерешенных задач — построение действия, соответствующего этим уравнениям. Поэтому важную роль играет разработка систематической теории возмущений, которая позволяла бы извлекать нелинейные поправки к свободным уравнениям полей высших спинов, что позволяет, в частности, сравнивать результаты теории с результатами полученными другими методами (например из АДС/КТП соответствия). Важную роль при этом (из-за присутствия взаимодействий с высшими производными) играет проблема локальности, что требует ограничения на допустимые классы функций (или что во многом эквивалентно на допустимые классы замен переменных).

Этим двум актуальным проблемам в теории высших спинов и посвящена диссертация Корибута А. В.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и двух приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, формулируются его цели и задачи. Там же приведены основные положения, выносимые на защиту, информация о новизне, практической значимости, достоверности и об апробации полученных результатов.

Первая глава посвящена ассоциативной алгебре $Aq(2, \nu)$, которая возникает в трехмерной теории высших спинов, но имеет прямое отношение и к голоморфному сектору четырехмерной теории. Было известно, что эта алгебра может быть реализована с помощью т.н. деформированных осцилляторов (введенных впервые еще Вигнером), а

эта деформация существенно усложняет работу. Используя ассоциативность алгебры (а эта алгебра ассоциативна по построению) были получены рекуррентные соотношения на структурные константы, соответствующие произведению отдельных мономов. Далее это позволило получить явный вид этих структурных констант. Важно, что были рассмотрены как бозонные, так и фермионные операторы (что соответствует четному или нечетному числу осцилляторов), поскольку в более ранних исследованиях как правило ограничивались только бозонными.

Вторая глава, которая является непосредственным продолжением первой, посвящена определению подходящей скобки на роль коммутатора, которая определяла бы алгебру Ли, основанную на исследуемой алгебре деформированных осцилляторов. При нулевом значении параметра деформации есть хорошо известное т.н. звездочное произведение или произведение Мoyalа, которое выполняет эту роль. Основным результатом второй главы является обобщение звездочного произведения на случай алгебры деформированных осцилляторов. Была исследована зависимость от параметра деформации и показано, что при параметре стремящемся к нулю произведение сводится к обычному. Более того, вычислено линейное приближение по параметру деформации, что может оказаться полезным в некоторых практических задачах.

В третьей главе дальнейшее развитие получает т.н. гомотопический подход к построению теории возмущений для четырехмерных уравнений Васильева. Напомним, что полные нелинейные уравнения, описывающие взаимодействия, удалось получить за счет введения вспомогательных переменных. Поэтому получение вершин взаимодействия в терминах физических полей требует явного решения зависимостей от вспомогательных переменных. Кроме того, все такие вершины определены с точностью до замен переменных, которые могут менять число производных в вершине. Поэтому результаты (в первую очередь (не)локальность вершин) существенно зависят от выбора конкретных представителей. Ранее задача извлечения конкретных вершин решалась с помощью метода гомотопий с дальнейшим использованием замен переменных с тем, чтобы привести вершины к локальному представлению. В данной главе была развита техника сдвиговой гомотопии, которая позволяет за счет выбора параметров сдвига напрямую получать вершины в их локально форме. В этой главе вычислялись (анти)голоморфные кубические по полям вершины. Как уже упоминалось, трехмерная алгебра высших спинов имеет отношение и к голоморфному сектору четырехмерной теории, поэтому результаты первых двух глав тоже оказались полезными.

В четвертой главе строились четверные по полям вершины в смешаном (голоморфноантиголоморфном) секторе, что является более сложной в техническом плане задачей. Как и в предыдущей главе ее удалось успешно решить тем же методом сдвиговых гомотопий.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы. Приложения содержат детали проведенных вычислений. С моей точки зрения наиболее важным результатом работы является именно развитие самого метода сдвиговых гомотопий. Это важно не только потому, что позволило получить конкретные вершины в их локальном представлении, но и потому, что такой выбор во многом определяет свойства вершин в следующих порядках.

Диссертация выполнена на высоком физическом и математическом уровне по актуальной тематике. Полученные результаты являются новыми, они полностью обосно-

ваны, опубликованы в ведущих международных научных журналах и докладывались на многочисленных научных семинарах и конференциях. Достоверность результатов обусловлена корректностью использования математического аппарата теоретической физики. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

По результатам хотелось бы сделать следующие замечания:

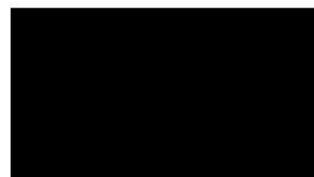
- Было бы очень полезно привести явные примеры вершин (с даже не слишком высоким спином), в которые входят ноль-формы. Дело в том, что для построения вершин с один-формами хорошо работает формализм Фрадкина-Васильева, а вот появление ноль-форм опять приводит к произволу, связанному с заменами переменных и риску получить бесконечное число производных даже для конечных спинов;
- Как и во многих публикациях на тему, в диссертации термин теория высших спинов воспринимается как теория безмассовых полей с высшими спинами. В то же время без понимания массивных полей и механизмов спонтанного нарушения симметрии саму теорию и ее связь с теорией струн нельзя будет считать законченной.

Однако, отмеченные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы и не снижают научное значение полученных результатов. По сути их можно рассматривать как пожелания для дальнейшей работы.

Учитывая вышесказанное, считаю, что рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Анатолий Валериевич Корибут, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

Официальный оппонент:

Зиновьев Юрий Михайлович,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник
НИЦ "Курчатовский Институт" — ИФВЭ
Протвино, Моск. обл., площадь Науки, д.1
email: yurii.zinoviev@ihep.ru



Подпись Зиновьева Юрия Михайлович заверяю
Ученый секретарь
НИЦ "Курчатовский Институт" — ИФВЭ



Н. Н. Прокопенко

04.2024

Список основных публикаций официального оппонента Зиновьева Ю. М. в рецензируемых научных изданиях по тематике диссертации Корибута А. В. за последние пять лет.

1. I. L. Buchbinder, M.V. Khabarov, T. V. Snegirev, Yu. M. Zinoviev, "*Lagrangian formulation of the massive higher spin $N = 1$ supermultiplets in AdS_4 space*", Nucl. Phys. B942 (2019) 1.
2. M.V. Khabarov, Yu. M. Zinoviev
"*Massive higher spin fields in the frame-like multispinor formalism*", Nucl. Phys. B948 (2019) 114773.
3. M. V. Khabarov, Yu. M. Zinoviev
"*Massive higher spin supermultiplets unfolded*", Nucl. Phys. B953 (2020) 114959.
4. M. V. Khabarov, Yu. M. Zinoviev
"*Massless higher spin cubic vertices in flat four dimensional space*", JHEP 08 (2020) 112.
5. M. V. Khabarov, Yu. M. Zinoviev
"*Cubic interaction vertices for massless higher spin supermultiplets in $d=4$* ", JHEP 02 (2021) 167.
6. Yu. M. Zinoviev
"*On higher spin cubic interactions in $d=3$* ", JHEP 11 (2021) 022.
7. M. V. Khabarov, Yu. M. Zinoviev "*On massive higher spins in $d=3$* ", JHEP 04 (2022) 055.
8. Yu. M. Zinoviev
"*Massless spin 2 interacting with massive higher spins in $d=3$* ", JHEP 03 (2023) 058.
9. Yu. M. Zinoviev
"*On massive higher spin supermultiplets in $d=3$* ", Nucl. Phys. B 996 (2023) 116351.