

ОТЗЫВ
официального оппонента
о диссертации Никиты Георгиевича Мисуны “Развёрнутый
подход в теории высших спинов и суперсимметричных моделях”,
представленной на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.02 - теоретическая физика

Теория высших спинов и теория струн в настоящее время рассматриваются как основные кандидаты на роль теорий, объединяющих всё и вся, причём существуют веские указания на то, что вторая теория есть не что иное, как спонтанно нарушенная фаза первой. Общеизвестная современная версия теории взаимодействующих полей всех спинов основана на фундаментальных уравнениях Васильева, которые записываются как условие нулевой кривизны для некоторой бесконечной системы зацепляющихся 1-форм, принимающих значения в бесконечномерной супералгебре, носящей название алгебры высших спинов. Утверждается (хотя это пока не доказано), что все известные теории поля определённым образом закодированы в уравнениях Васильева. Однако их извлечение из этого максимально общей системы уравнений является в высшей степени нетривиальной задачей, которой посвящено много работ. В некотором смысле обратная задача состоит в том, чтобы, исходя из уравнений движения той или иной известной теории и дополняя их некоторым бесконечным числом вспомогательных полей, записать их в виде развёрнутых уравнений Васильева для определённого частного выбора фундаментальных 1-форм. Опять же утверждается, что такая “перезапись” возможна для любой динамической системы.

Один из основных результатов диссертационной работы Никиты Мисуны состоит в нахождении такого не известного ранее представления для простейшей $\mathcal{N} = 1, 4D$ суперсимметричной теории поля со взаимодействием - модели Весса-Зумино. Помимо этого, в диссертации получен ещё ряд важных результатов, относящихся к другим аспектам уравнений Васильева, и я коснусь их позже.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав основного содержания, заключения, списка литературы из 226 наименований и двух приложений.

Во **введении** очерчен современный статус физики фундаментальных взаимодействий, обоснована актуальность темы диссертации в этом контексте, дан краткий обзор соответствующей литературы, представлена структура диссертации и сформулированы цели работы. Изложение является последовательным и ясным.

Первая глава посвящена детальному описанию развёрнутого подхода к $\mathcal{N} = 1, 4D$ модели Весса-Зумино. На свободном уровне этот подход был ранее разработан М. Васильевым и Д. Пономарёвым как обобщение аналогичной формулировки для свободного скалярного поля. Заслуга соискателя состоит в рассмотрении общего случая модели Весса-Зумино с взаимодействием, включая возможные члены с высшими производными. Вначале построена развёрнутая суперполевая формулировка “on-shell” для свободного случая, а затем суперполевая формулировка “off-shell”, не включающая динамических уравнений (хотя и приводящая к кинематическим связям на базисные суперполя, в том числе, к условиям киральности). Эта формулировка позволяет написать наиболее общее суперсимметричное действие как функцию кирального суперполя, используя общий подход, основанный на так называемых “Q-когомологиях”, где Q - некоторый нильпотентный оператор. Он однозначно определяется по развёрнутым уравнениям и включает плоские 1-формы $\mathcal{N} = 1$ суперсимметрии наряду с 0-формами, построенными из киральных суперполей. Инвариантные действия пишутся как бозонные интегралы от 4-формы, замкнутой относительно Q и отождествляемой с лагранжианом. Соискатель выводит также несколько других представлений для действий.

Несколько замечаний по этой главе. Во-первых, было бы желательно прояснить связь использованного довольно сложного когомологического рецепта построения инвариантных действий со стандартным суперполевым, в котором действие пишется как сумма интегралов Березина по общему и киральным $\mathcal{N} = 1, 4D$ суперпространствам. Во-вторых, известно, что киральность, как важный пример грассмановой аналитичности, лежит в основе всех представляющих интерес $\mathcal{N} = 1$ теорий, включая не только материю (модель Весса-Зумино) но и суперкалибровочную теорию, и теорию супергравитации. Из изложения в 1-ой главе не совсем понятно, как эта фундаментальная роль киральности проявляется в развёрнутом подходе. Наконец, соискатель не обсуждает, как полный набор суперполевых уравнений модели Весса-Зумино с взаимодействием мог бы быть выведен в рамках “on-shell” подхода, изложенного в начале раздела 1.4.2 на примере свободной модели. Иными словами, как вывести соответствующую модификацию уравнения (1.4.38) из развёрнутых суперполевых уравнений, не апеллируя к какому-либо действию? И конечно, остаются вопросы о построении развёрнутых формулировок других $\mathcal{N} = 1, 4D$ теорий и их обобщений на $\mathcal{N} \geq 2$. Можно надеяться, что в скором времени эти интересные задачи будут решены.

Вторая глава посвящена извлечению квадратичных поправок к бозонным уравнениям Фронсдала для безмассовых высших спинов из универсаль-

ных уравнений Васильева. Эта процедура весьма нетривиальна из-за наличия в уравнениях Васильева вспомогательных твисторо-подобных переменных, выбор резольвенты по которым неоднозначен. Поэтому надо накладывать дополнительные физические условия типа локальности. Соответствующая резольвента была недавно предложена О.Гельфонд и М. Васильевым, и с её использованием во 2-й главе диссертации найдены в явном виде локальные квадратичные поправки к уравнениям Фронсдала. Эти поправки оказались в точном соответствии с видом кубических вершин безмассовых высших спинов, найденных ранее другими методами. Вычисления технически сложны, но соискатель успешно с ними справляется и получает конечный ответ в достаточно компактном виде. Характерная черта вычисленных поправок состоит в присутствии некоторого фазового угла ϕ , который в общем случае нарушает чётность. Соответствие с известными вершинами имеет место при значениях $\phi = 0, \pi/2$, но при $\phi = \pi/4$ вершины нарушают чётность, т.е. возникает новая ситуация. Это весьма интересное наблюдение, которое может иметь важные следствия для структуры дуальной граничной теории.

В **третьей главе** диссертации изучается недавно предложенная М. Васильевым модификация его знаменитых уравнений, содержащая с самого начала формы старших рангов вдобавок к фундаментальным 1-формам. Такая модификация должна помочь выявить конформную граничную теорию, дуальную к теории высших спинов на AdS по обобщённой AdS/CFT дуальности. В частности, появляется новая замкнутая 4-форма, которая может рассматриваться как производящий древесный функционал теории на границе плюс возможные квантовые поправки. Нахождение конкретного пертурбативного вида этой 4-формы путём решения модифицированных уравнений - крайне нетривиальная технически сложная задача. Для её упрощения соискателем развита новая техника пертурбативных вычислений в теории высших спинов и приведены конкретные примеры, подтверждающие применимость этой техники не только для размерности $4D$, но и для произвольной размерности, включая вызывающий особый интерес $3D$ случай.

В **четвёртой и пятой главах** автор продолжает исследование модифицированной системы уравнений Васильева и их приложений. В **четвёртой главе** показано, как сделать явной локальную группу Лоренца, которая скрыта в первоначальной формулировке этих уравнений. Процедура эта вначале объясняется на примере немодифицированных уравнений и состоит в наблюдении, что эти уравнения обладают скрытой штюкельберговой калибровочной симметрией, позволяющей трактовать исходную формулировку со скрытой лоренцевой связностью и формулировку, в которой лоренцева симметрия и лоренцева связность присутствуют явно, как две разные калиб-

ровки по отношению к этой дополнительной локальной симметрии. Затем показано, что аналогичный трюк работает и в модифицированном случае. Интересные новые моменты состоят в том, что требование существования лоренц-ковариантной формулировки позволяет сузить число возможностей, допускаемых модифицированной системой, а также в том, что соответствующий твисторный сектор порождён осцилляторами, удовлетворяющими нелинейно деформированной алгебре, представляющей собой многомерное обобщение стандартных деформированных осцилляторов высших спинов. На ряде примеров показано, что лоренц-ковариантная формулировка существенно упрощает теорию возмущений для модифицированных уравнений.

Пятая глава посвящена исследованию замкнутой 2-формы, присутствующей в модифицированных уравнениях Васильева с топологическими полями. Показано, что интеграл от нее по двумерному циклу порождает заряд, сохраняющийся на этих уравнениях. В качестве примера вычислены, в низших порядках по полям, заряды чёрной дыры Керра с высшими спинами. Предложена интерпретация топологических полей как химических потенциалов, сопряженных сохраняющимся зарядам. Детально обсуждены возможные перспективы этого подхода для лучшего понимания термодинамики чёрных дыр с высшими спинами.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертации. В **приложениях** дана сводка использованных обозначений и приведены уравнения Q -замкнутости лагранжианов из первой главы.

Диссертация Н.Г. Мисуны выполнена на очень высоком научном уровне и представляет собой существенный вклад в теорию высших спинов на основе уравнений Васильева. Автор продемонстрировал свободное владение сложными алгебраическими и топологическими методами и понятиями (гомотопии, кохомологии и пр.), методами дифференциальной геометрии и методами теории суперсимметрии, в применении к решению конкретных задач. Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих международных журналах с высоким импакт-фактором, автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Научная новизна. Полученные в диссертации результаты являются новыми и хорошо цитируются в научной литературе, посвящённой теориям высших спинов.

Достоверность результатов, полученных соискателем, базируется в первую очередь на корректности и общепризнанности исходных теорий и применении методов, уже показавших свою адекватность в предыдущих работах по тематике диссертации. Ряд этих результатов уже использован и подтвержден другими авторами. Они докладывались на многих представительных

конференциях по данной тематике, как международных, так и российских.

Использование результатов. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в исследованиях, проводимых в Физическом институте РАН, Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, Математическом институте РАН, Институте теоретической и экспериментальной физики, Институте математики СО РАН, а также в других научных учреждениях, где проводятся исследования по современной математической и теоретической физике, включая различные варианты теории высших спинов, AdS/CFT дуальность, суперсимметрию и другие близкие направления.

Теперь о недостатках. Ряд замечаний по главе 1 уже был приведён выше. Общее замечание по остальным главам состоит в том, что диссертация написана несколько неровно с точки зрения ясности и последовательности изложения. Очень хорошо написано Введение и обзорные части других глав. В то же время интересный и изящный метод, применённый автором в главе 4, изложен не лучшим образом. Во многих случаях изложение предполагает, что читатель в полной мере знаком со специфической терминологией теории высших спинов, без объяснения тех или иных понятий. Однако все эти замечания не могут снизить ценности полученных в диссертации результатов и не влияют на мою высокую оценку её научного уровня. Большинство вопросов следует рассматривать как пожелания на будущее.

Всё вышесказанное позволяет заключить, что диссертация “Развёрнутый подход в теории высших спинов и суперсимметричных моделях” полностью удовлетворяет требованиям пункта 8 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Никита Георгиевич Мисуна несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

“ 7 ” _____ ноября _____ 2018 г.

Официальный оппонент
начальник сектора №2 ЛТФ ОИЯИ
доктор физ.-мат. наук, профессор



Иванов Евгений Алексеевич

ЛТФ ОИЯИ, ул. Жолио-Кюри 6,
141 980 Дубна М/о, тел.: +7 496 21 65 539,
e-mail: eivanov@theor.jinr.ru

Подпись д.ф.-м.н., профессора Е.А. Иванова заверяю, заместитель
директора ЛТФ ОИЯИ Исаев Алексей Петрович

