ОТЗЫВ

Официального оппонента, кандидата физико-математических наук Вячеслава Евгеньевича Диденко, на диссертацию Никиты Михайловича Заиграев «N=2 суперсимметричная теория высших спинов в гармоническом суперпространстве», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальность 1.3.3 – теоретическая физика.

Исследование полей с высшими спинами представляет собой одно из актуальных направлений в области фундаментальных взаимодействий. Такие теории представляют собой дальнейшее расширение моделей супергравитации с идеей, что бесконечномерной симметрии окажется достаточно для того, чтобы справиться с расходимостями гравитации и построить перенормируемую или даже конечную квантовую гравитацию. Кроме того, важным вопросом является связь с теорией суперструн, спектр которой с необходимостью содержит бесконечное число массивных полей высших спинов. Большой интерес в последние годы также вызывает, так называемое АДС/КТП соответствие, в котором поля высших спинов возникают естественным образом. Вместе с тем, само существование теорий с полями высших спинов существенным образом ограничено различными no-go теоремами. Полученные ограничения практически не оставляют произвола для самосогласованного взаимодействия калибровочных полей высших спинов, что означает, что такая теория, если существует, представляет фундаментальный интерес. В некотором роде ситуация с высшими спинами похожа на теорию Янга-Миллса, взаимодействие полей в которой однозначно фиксируется цветной симметрией. Таким образом, ключевым аспектом в исследовании динамики высших спинов является понимание структуры (супер)симметрий, лежащей в её основе. Такие симметрии не только определяют спектр полей (включая вспомогательных), но и вид нелинейных взаимодействий.

Диссертационная работа Заиграева Никиты Михайловича в широком смысле посвящена изучению симметрийных ограничений в теории высших спинов, а в узком – исследованию, как линейной, так и кубической теории в случае N=2 расширенной суперсимметрии. Анализ проводится на языке формализма гармонического суперпространства. Как было указано выше, исследования по этой тематике являются **актуальными** и представляют большой научный интерес.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав основного текста, заключения и двух приложений. Полный объем диссертации составляет 195 страниц текста. Список литературы содержит 185 наименования.

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.

В **первой главе** излагаются общие методы гармонического суперпространства для N=2 суперсимметричных теорий. Даются определения гармоник и описываются методы работы с ними: аналитический базис, редуцированное аналитическое суперпространство, принцип грассмановой аналитичности; определения и правила работы с гармоническими производными. Приводится описание различных известных N=2 теорий, а именно, гипермультиплет s=1/2, мультиплет суперэлектродинамики, а также мультиплет супергравитации.

Вторая глава посвящена построению линейной N=2 теории высших спинов в гармоническом суперпространстве. В основе развиваемого подхода естественным образом лежит известный пример линеаризованной N=2 супергравитации. Этот случай рассмотрен детально, что позволяет перейти к полям высших спинов. Первым нетривиальным обобщением линейной супергравитации рассмотрен случай поля s=3, для которого выведены аналитические препотенциалы, калибровочная симметрия и преобразования суперсимметрии, действие и компонентный состав. Данный пример демонстрирует общую структуру и обобщается на произвольный случай целочисленного старшего спина.

В **третьей главе** выводятся N=2 суперполевые уравнения движения. В качестве иллюстрации отдельно рассмотрен случай спина s=1. Уравнения движения получаются методом варьирования найденного в предыдущей главе действия по полям, на которые не наложены связи (препотенциалы). Данное варьирование производится двумя различными способами: по аналитическим препотенциалам и неаналитичиским типа Мезинческу. Интересно, что последние существуют для случая произвольного спина.

В **четвертой главе** строятся кубические вершины N=2 высших спинов с гипермультиплетом. В основе используемого подхода лежит суперполевое обобщение процедуры Нётер, которая помимо калибровочной инвариантности кубического действия, включает в себя требование явной глобальной N=2 суперсимметрии, но ещё и требование гармонической аналитичности. Построение начинается с частных примеров, а именно, со случая взаимодействия гипермультиплета со спином s=1, затем со спином s=2 и спином s=3. Рассмотренные примеры затем обобщаются на случай произвольных N=2 высших спинов с целочисленным старшим спином. Детально разобрана компонентная форма вершин для супермультиплетов спинов 1, 2 и 3, что даёт ясную картину, как получается компонентная форма в произвольном случае.

В **пятой главе** изучается вопрос о связи глобальной симметрии гипермультиплета и суперполевых токов. Данный вопрос тесно связан с определением, так называемой, алгебры высших спинов, определяющую спектр и структуру полевых взаимодействий. Автором показано, что коммутатор фермионных преобразований высших спинов порождает преобразование еще более старшего спина. Это является указанием на то, что полная суперсимметричная теория должна содержать бесконечный спектр безмассовых полей. Кроме этого, были найдены законы сохранения суперполевых токов и их явная компонентная форма. Результаты данной главы подробно иллюстрируются примерами низших спинов и током спина s=3.

Шестая глава посвящена N=2 суперконформной теории высших спинов, т.е. суперсимметричному расширению полей Фрадкина-Цейтлина. Суперконформные преобразования выводятся из рассмотрения наиболее общих преобразований гипермультиплета, содержащих первую степень суперпроизводных. В дальнейшем автор выводит набор аналитических суперполей. С помощью процедуры Нётер строятся конформные кубические вершины высшего спина с гипермультиплетом, а также анализируется компонентный состав. Важной частью этой главы является обобщение кубического взаимодействия на произвольный супергравитационный фон.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы. Приложения содержат список принятых обозначений и детали проведенных вычислений. С моей точки зрения наиболее важные результаты работы состоят в следующем:

1. Построена явная N=2 реализация полей высших спинов на языке гармонического суперпространства. Использованный формализм позволяет изучать нелинейные взаимодействия из условий гармонической аналитичности.

2. Доказано существование препотенциалов типа Мизенческу для случая произвольного целого старшего спина N=2 теории высших спинов.

3. Обобщение суперконформных вершин высших спинов на произвольный вакуум конформной N=2 супергравитации.

Диссертация выполнена на высоком физическом и математическом уровне по **актуальной** тематике. Полученные результаты являются **новыми**, они полностью **обоснованы**, 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:

1. Известно, что кубические вершины не вполне определяют самосогласованную нелинейную теорию и даже ее спектр, знание о котором кодируется алгеброй высших спинов. Автором не изучались ограничения такого рода в диссертации, поскольку анализ выходит за рамки кубического приближения. Тем не менее, структуру спектра в обычном (не суперсимметричном) случае также определяет теорема Флато-Фронсдала. Было бы интересно изучить её N=2 супер обобщение.

2. No-go теоремы оставляют мало возможностей для нелинейных калибровочных теорий высших спинов на фоне пространства Минковского за рамками кубического приближения. Обычно это ограничение обходится введением ненулевой космологической постоянной. Автором не обсуждается структура кубических вершин в пространстве с ненулевой космологической постоянной, хотя и отмечается важность этого вопроса. В известных примерах структура старших по производным вершин оказывается одинаковой. Было бы интересно выяснить верно ли это утверждение в N=2 случае.

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, Никита Михайлович Заиграев, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — «Теоретическая физика».

Официальный оппонент:

Диденко Вячеслав Евгеньевич,
кандидат физико-математических наук,
высококвалифицированный старший научный сотрудник
Лаборатории квантовой теории поля
ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук г.
Москва, Ленинский проспект, д. 53
email: didenko@lpi.ru

24 сентября 2024 г.

Подпись Диденко Вячеслава Евгеньевича заверяю

Ученый секретарь
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
кандидат физико-математических наук А.В. Колобов