

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Федорука Сергея Алексеевича на тему "Классические и квантовые модели суперсимметричной механики и частиц высших спинов", представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Суперсимметрии играют важную роль в целом ряде актуальных направлений исследований в области теории фундаментальных взаимодействий. Интерес к ним, с одной стороны, связан с тем, что суперсимметричные теории как правило обладают замечательными физическими свойствами (хорошее ультрафиолетовое поведение, интегрируемость и т.д.). С другой стороны несомненный интерес представляют математические аспекты таких теорий, в первую очередь нетривиальные геометрические структуры, которые в них появляются. В виду технической сложности таких исследований представляется актуальным и полезным изучение низкоразмерных суперсимметричных моделей таких как модели суперсимметричной механики и модели (спиновых, супер) частиц, особенно частиц с высшими спинами. Именно таким исследованиям и посвящена данная диссертация.

Помимо естественного в таких задачах аппарата суперполей и суперпространств (в том числе и гармонических) во многих моделях, изучаемых в диссертации, важную роль играет твисторный формализм. Изначально этот формализм появился как удобный способ описывать безмассовые поля на массовой поверхности. Однако со временем стало появляться все больше указаний на то, что этот формализм является универсальным и может рассматриваться, как это демонстрируется на целом ряде примеров в диссертации, как дуальное к более привычному пространственно-временному описанию. Одним из важных результатов является то, что такой формализм (в его битвисторной инкарнации) может описывать не только безмассовые, но и массивные частицы.

Важно также, что исследования моделей в диссертации ведутся не только на классическом, но и на квантовом уровне. Помимо того, что любые аккуратно разобранные квантовые модели интересны сами по себе, именно квантование (через квантовые версии генераторов симметрии и уравнения на волновые функции) дает связь таких моделей с моделями теории поля и может служить важным источником информации о том, как такие симметрии могут быть реализованы в теории поля.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе строится целый ряд новых нелинейных сигма-моделей суперсимметричной квантовой механики с $N = 1, 2, 4$ суперсимметриями в суперполево-м формализме с использованием гармонического суперпространства и метода нелинейных реализаций. Для таких моделей проведено квантование, построены квантовые версии генераторов алгебры расширенных суперсимметрий и подробно исследованы геометрические свойства многообразий, которые в таких моделях возникают. Многие результаты этой главы оказываются полезными и при исследовании моделей с суперконформной симметрией во второй главе.

Во второй главе рассматриваются модели квантовой механики обладающие конформной симметрией, а также их обобщения на системы, обладающие (расширенной)

суперконформной симметрией. При построении таких моделей используются как динамические, так и полудинамические супермультиплеты, а также метод калибрования изометрий. Исследуются не только одночастичные, но и многочастичные системы, В-частности, были построены новые обобщения модели Калоджеро, в том числе и с расширенной $N = 1, 2, 4$ суперконформной симметрией. Такие модели являются примерами т.н. матричных моделей интенсивно изучаемых в настоящее время. В этой же главе исследуются модели, инвариантные относительно конформной группы Галилея, являющейся обобщением одномерной конформной группы, а также получены N -расширенные суперконформные алгебры Галилея в $1 < d < 5$ пространственных измерениях.

В третьей главе изучаются твисторные формулировки массивной и безмассовой частиц произвольного спина. Прежде всего для безмассовой частицы произвольной спиральности строится обобщенная твисторная формулировка, которая отличается от формулировки Пенроуза дополнительной скалярной переменной. Это позволяет получить преобразования, связывающие твисторное пространство с вещественным пространством-временем (а не комплексным как в случае обычной формулировки Пенроуза). Более того, показано, что такая формулировка допускает прямое обобщение на случай массивной частицы с произвольным спином. И в том, и в другом случае построены интегральные преобразования, связывающие твисторные поля с пространственно-временными. В этой же главе построена модель Ширафуджи для массивной частицы, обладающей спином и электрическим зарядом, и проведено ее квантование.

Четвертая глава посвящена исследованию моделей частиц и суперчастиц, инвариантных относительно обобщенных релятивистских алгебр с центральными зарядами. Описание таких моделей требует введения (помимо обычного четырех-вектора) дополнительных тензорных координат. Построена модель суперчастицы с тензорными центральными зарядами, связанная с псевдоклассической моделью частицы спина $1/2$. Кроме того, построена твисторноподобная формулировка такой суперчастицы, которая позволяет единообразно описать как массивный, так и безмассовый случай. В этой же главе рассматриваются системы, инвариантные относительно алгебры Максвелла, в которой центральные заряды появляются в коммутаторе для трансляций. Построено действие частицы, инвариантное относительно таких симметрий, проведено квантование и изучен спектр. Отметим, что связь такой алгебры связана с движением заряженных частиц в постоянном электромагнитном поле известна уже довольно давно, однако попытки ее реализации в теории поля пока заметного успеха не имели. К сожалению в диссертации связь полученных результатов с такими попытками, а также собственные результаты, присутствующие в оригинальных работах, не обсуждаются.

В пятой главе твисторный формализм распространяется на описание суперчастиц с высшими спинами, а также протяженных объектов типа струн. Построены новые модели частиц, инвариантные относительно т.н. бозонной суперсимметрии (в которой спинорные переменные коммутируют) и выполнено их квантование. Поскольку модель описывает массивные состояния высших спинов эти результаты могут быть полезными для понимания массивных полей высших спинов, которые изучены пока гораздо слабее, чем безмассовые. В-частности было бы интересно понять какой развернутой формулировке массивных полей с высшими спинами такая модель соответствует. Также построена мастер-модель частиц высших спинов, которая в зависимости от калибровки может воспроизводить как т.н. развернутую формулировку, так и модель с бозонной

суперсимметрией. В этой же главе построены две альтернативные формулировки для бозонной струны, в-частности, построено твисторное действие для бозонной струны с натяжением. Это важно поскольку именно при ненулевом натяжении спектр струны содержит массивные поля с высшими спинами. Было бы интересно увидеть обобщение этих результатов на суперструну.

В целом диссертация представляет собой выполненное на высоком научном уровне исследование, которое вносит существенный вклад сразу в несколько актуальных направлений исследований. Результаты опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах и докладывались и обсуждались на многочисленных международных конференциях и семинарах. Они широко известны и цитируются. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертация С. А. Федорука "Классические и квантовые модели суперсимметричной механики и частиц высших спинов" удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – 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
телефон (4967) 713160
E-mail yurii.zinoviev@ihep.ru

Подпись Зиновьева Ю. М. заверяю
Ученый секретарь
НИЦ "Курчатовский институт" – ИФВЭ



Прокопенко Н. Н.

05.06.2017