

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук Гаврилова Сергея Петровича
на диссертацию Петрусевича Дениса Андреевича
«Некоторые проблемы квантовой теории ориентируемых объектов»,
представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.02 – теоретическая физика

Диссертационная работа Петрусевича Д.А. посвящена исследованию и развитию методов квантового описания ориентируемых объектов на основе теории представлений групп Ли. В представленной работе рассматриваются два типа таких объектов: нерелятивистский ротатор, описываемый компактной группой $SU(2)$, и релятивистская частица со спином в пространстве $2+1$ измерений. Ротатор описывается компактной группой $SU(2)$. Релятивистская частица описывается некомпактной группой $SU(1,1)$, имеющей бесконечномерные унитарные представления.

Актуальность исследования обусловлена тем, что последовательное рассмотрение квантовых объектов, обладающих ориентацией, важно для решения ряда теоретических задач, связанных с наличием спина, как в нерелятивистской, так и в релятивистской квантовой теории. С помощью развитых методов получено два основных новых результата: (1) построены и исследованы когерентные состояния нерелятивистского ротатора, обеспечивающие минимальную неопределенность, и (2) получены точные решения бесконечнокомпонентных уравнений Майорана в $2+1$ измерениях в постоянном однородном магнитном поле. Ранее такие когерентные состояния нерелятивистского ротатора не были известны. Решения бесконечнокомпонентных уравнений Майорана в $2+1$ измерениях ранее рассматривались только для свободной частицы.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы обеспечивается надежностью подхода, основанного на теории представлений групп Ли, и корректностью проведенных расчетов, которая подтверждается согласием с результатами, полученными разными методами, а также согласием с результатами других авторов, полученными для частных случаев.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, двух приложений и списка литературы из 90 наименований. По объёму и структуре работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Во **введении** обоснована актуальность работы, указана цель проводимых автором исследований, кратко изложено содержание работы по главам.

В **первой главе**, которая носит обзорный характер, рассматривается описание ориентированных объектов в нерелятивистской и релятивистской квантовой теории, использование когерентных состояний (КС), даётся обзор литературы.

Во **второй главе** строятся когерентные состояния (КС) квантового ротатора. Построенная система КС квантового ротатора $|j\ u\ v\rangle$ обладает определённым угловым моментом и минимальной неопределённостью. Они характеризуются определённой проекцией углового момента j на подвижную ось, жёстко связанную с ротатором (её положение задаётся параметром v), и на неподвижную ось (задаётся параметром u). Для представленных КС ротатора рассмотрена эволюция во времени, получены уравнения на параметры этих состояний, переходящие в классическом пределе больших j в уравнения Эйлера. Полученные автором уравнения можно трактовать, как квантовую версию уравнений Эйлера для классического ротатора. Они отличаются от классических выражений только множителем, который зависит от углового момента j . Для малых j он существенно отличается от 1, что приводит к замедлению прецессии ротатора.

В третьей главе рассматриваются решения релятивистских волновых уравнений (РВУ) в пространстве 2+1 измерений, имеющих вид $(\hat{p}_\mu \hat{S}^\mu - \kappa)\psi = 0$. Устанавливается, что в пространстве 2+1 измерений конечнокомпонентные РВУ (аналоги уравнений Баба, и в частности, уравнений Дирака и Даффина-Кеммера) связаны с конечномерными неунитарными представлениями группы Лоренца. РВУ, аналогичные уравнениям Майорана в 3+1-мерном пространстве, связаны с бесконечномерными унитарными представлениями группы Лоренца в 2+1 измерении $SO(2,1) \sim SU(1,1)$. Во избежание недоразумений, заметим, что автор транскрибирует имя Vhabha, как Бхабба, хотя в русскоязычной математической литературе принято переводить “Vhabha equations” как «уравнения Баба».

Показано, что разделение пространственных и ориентационных переменных и выражение операторов задачи через генераторы группы Лоренца в 2+1 измерении $SU(1,1)$ и генераторов группы Гейзенберга $W(1)$, позволяет построить точные решения РВУ. Получены точные решения 2+1-мерных аналогов уравнений Майорана и Баба в постоянном однородном магнитном поле. Показано, что для бесконечномерных уравнений Майорана, описывающих произвольные спины, как и для конечнокомпонентных уравнений спинов 1/2 и 1, решения существуют при любых значениях напряженности однородного магнитного поля, и их спектры обладают сходным поведением. Для конечнокомпонентных уравнений для высших спинов ($s > 1$) уровни энергии при больших напряженностях поля становятся комплексными.

Показано, что 2+1-мерные уравнения Дирака и Майорана (спин 1/2) во внешнем электромагнитном поле в нерелятивистском приближении различаются в членах второго порядка по $1/c$. Эти различия в отсутствие электрического поля проявляются в третьем порядке. При максимальном создаваемом в лаборатории магнитном поле 10^6 Гс отношение разности энергий уровней, отвечающих решениям уравнений Майорана и Дирака, к

расстоянию между соседними уровнями составляет примерно 10^{-7} . В принципе, это позволяет считать решения уравнений совпадающими.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

В приложения вынесен вспомогательный материал по теории представлений групп Лоренца и Пуанкаре в $2+1$ измерении и когерентным состояниям групп $SU(2)$ и $SU(1, 1)$.

В целом, диссертация производит хорошее впечатление, ее теоретический уровень безусловно соответствует квалификации кандидата физико-математических наук. При этом, однако, в основном, автор сосредоточен на технических вопросах адекватного применения теории представлений групп Ли к рассматриваемым физическим задачам. На мой взгляд, следовало бы уделить больше внимания собственно физическим следствиям. Это ведет к нескольким замечаниям:

1. Не вполне ясно из текста диссертации, какое именно преимущество с точки зрения возможных физических приложений дают предлагаемые когерентные состояния квантового ротатора.
2. Отмечено, что при достижимой в настоящий момент максимальной напряженности однородного магнитного поля отношение разности энергий уровней, отвечающих решениям уравнений Майорана и Дирака, к расстоянию между соседними уровнями составляет примерно 10^{-7} . Остается не ясным, может ли такое различие, хотя бы в принципе, быть наблюдаемым. Будет ли способствовать наблюдению усиление магнитного поля, добавление электрического поля? Известно, что в астрофизике, а также при рассеянии тяжелых ионов, могут возникать намного более сильные магнитные поля, чем доступны в современных лабораториях. Может ли эффект каким-то образом проявиться в этих ситуациях?

3. Утверждается, что для конечнокомпонентных уравнений для высших спинов ($s > 1$) уровни энергии при больших напряженностях однородного поля становятся комплексными. Это неточность, поскольку известно, что такая трудность имеется и в случае векторных частиц ($s=1$), находящихся в электродинамически сильном магнитном поле ($\sim m^2/e$), когда эффекты нелинейности КЭД становятся существенными. Обычно считается, что квантовая система в таком поле оказывается нестабильной и спонтанно порождает неоднородные поля. Являются ли устойчивыми по отношению к неоднородностям магнитного поля предлагаемые бесконечномерные уравнения Майораны, описывающие произвольные спины?

Я не буду останавливаться на мелких технических недочетах, вроде опечаток. Они есть в тексте, но их немного. Иногда встречаются и несколько туманные, или неуклюжие формулировки, например, формулировки абзаца "Научная новизна исследования", пункта 5 основных положений, выносимых на защиту. При этом формулировки заключения вполне ясны. В целом, диссертация написана аккуратно.

Отмеченные недостатки безусловно не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Основные материалы диссертации докладывались на конференциях и опубликованы в виде 2 статей в рецензируемых международных журналах из перечня ВАК РФ, которые включены в библиографическую базу данных цитирования Web of Science и имеют достаточно высокий импакт фактор: 1,296 и 1,583, соответственно.

В целом, диссертация представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком уровне. Автореферат диссертации достоверно и достаточно полно отражает её содержание.

Считаю, что диссертационная работа «Некоторые проблемы квантовой теории ориентируемых объектов» удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученой степени» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Петрусевич Д.А., заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 -- Теоретическая физика.

Официальный оппонент:

профессор кафедры общей и
экспериментальной физики ФГБОУ ВО РГПУ
им. А. И. Герцена
д.ф.-м.н., доцент

25.04.2016



Гаврилов Сергей Петрович

Подпись руки

С.П. Гаврилова заверяю

Начальник отдела

диссертационных советов



А.А. Лактионов

Шифр специальности: 01.04.02 – теоретическая физика

Тел.: (812) 315-53-96

Email: psme@herzen.spb.ru

Почтовый адрес: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена», Россия, 191186, г. Санкт-Петербург, Набережная реки Мойки, д. 48, корп. 3.