Отзыв официального оппонента

о диссертационной работе Ш А Й К О В С К О Й Надежды Дмитриевны “Методы кинематики и феноменологический подход к описанию взаимодействий частиц на основе свойств пространств с кривизной”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Шайковской Н. Д. посвящена изучению и применению современных математических методов, используемых в релятивистской кинематике, а также развитию на их основе феноменологического подхода к описанию взаимодействий квантовых частиц. В основу данной работы положены проверенные и хорошо зарекомендовавшие себя алгебраические и геометрические методы, восходящие к работам известных физиков-теоретиков. Описание взаимодействий частиц в квантовой механике является сложной, до конца не разрешенной задачей, поэтому использование новых феноменологических моделей и привлечение неевклидовых геометрий представляет собой широкое поле для теоретических исследований. Очевидно, данная диссертационная работа в полной мере соответствует специальности 01.04.02 — теоретическая физика и отрасли физико-математических наук.

2. Актуальность темы диссертации

Актуальность использования альтернативных методов в кинематике взаимодействия частиц обусловлена тем, что новые методы позволяют взглянуть на изучаемое явление (в данном случае на процесс столкновения частиц) с другой — с геометрической точки зрения. Владение различными методами анализа задачи зачастую позволяет значительно упростить и сократить выкладки, что в работе продемонстрировано на примере использования плоскости Бельтрами-Клейна для задачи о специальной системе отсчета, предложенной атером, а также метода, устанавливающего связь между векторами в пространстве Лобачевского и векторным параметром группы Лоренца, введенным Ф.И. Федоровым, что позволило найти матрицу Лоренца для перехода к собственной системе отсчета в случае сверхсветовых частиц в самом общем виде. Конечно, обе задачи можно было бы решить без привлечения названных подходов, однако их решение было бы существенно более громоздким и потребовало бы существенно больших затрат как сил, так и времени. Использование методов неевклидовых геометрий для описания взаимодействия в квантово-механических задачах имеет достаточно давнюю историю развития, восходящую к пионерским работам Шредингера и Инфельда, написанных еще в середине прошлого века. Однако, развитие этих методов по-прежнему остается актуальным направлением в физике в силу их эффективности. Актуальность диссертационной тематики подтверждается апробацией результатов на международных и республиканских конференциях, а также и тем, что диссертация выполнена в рамках государственной научной программы Конвергенция 2025,2.1.01, подпрограммы "Микромир, плазма и Вселенная". Таким образом, актуальность темы диссертации не вызывает сомнения.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Основные результаты полученные в диссертации и выносимые на защиту положения являются новыми. Новизна работы заключается в том, что были впервые получены следующие результаты:

– Введена новая специальная система отсчета, связанная с процессом бинарного упругого рассеяния частиц неравных масс;

– ведено понятие расширенного пространства Лобачевского и на его основе найдена матрица Лоренца, описывающая переход к собственной системе отсчета сверхсветовой частицы;

– определены длина и радиус рассеяния в пространстве Лобачевского в случае сферически-симметричной прямоугольной потенциальной ямы,

– показано, что длина рассеяния в случае кулоновского потенциала в пространстве Лобачевского имеет конечное значение,

– получены полные квазиклассические решения для задачи о рассеяния в пространстве Гаусса и приближенная формула для сдвига фаз волновой функции.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность основных результатов и выводов, защищаемых положений и рекомендаций определяется: использованием теоретических методов, адекватных поставленным задачам; применением надежно апробированных геометрических и квантовомеханических методов; в частных предельных случаях результаты диссертации совпадают с известными результатами в литературе.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации

Научная значимость диссертационной работы заключается в развитии математических методов, используемых в теоретической физике, и в получении ряда новых выражений, отражающих особенности движения частиц в неевклидовых пространствах, расширяет понимание геометрических аспектов специальной теории относительности. Практическая и социальная значимость заключается в том, что решенные в работе задачи могут служить как канвой для будущих исследований, так и хорошо разработанными примерами для изучения различных математических методов. Таковым примером является, например, задача о рассеянии в пространстве Гаусса, в которой ВКБ метод применяется для приближенного решения сложного дифференциального уравнения, не поддающегося аналитическому рассмотрению. Разработанные квантово-геометрические методы могут быть использованы в Институте физики НАН Беларуси, Белорусском государственном университете, Объединенном институте ядерных исследований г. Дубна (Российская Федерация), и ряде других научных и учебных центрах.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации были опубликованы в 10 работах, 6 из которых — в рецензируемых научных журналах с высоким международным рейтингом. Опубликованность результатов диссертации соответствует требованиям Высшей Аттестационной Комиссии Республики Беларусь.

7. Соответствие оформления требованиям ВАК

Диссертационная работа Шайковской Н. Д. оформлена в соответствии требованиями, предъявляемыми Высшей Аттестационной Комиссии Республики Беларусь. Текст автореферат отражает краткое содержание диссертации и полностью ей соответствует.

8. Замечания по диссертации

1. В диссертации отсутствует список обозначений, что несколько затрудняет ее чтение, так как встречающиеся в тексте обозначения и определения не всегда своевременно и полно определены. Например, на стр. 17 сформулированы правила, согласно которым элементам фигуры ставятся в соответствие определенные кватернионные и векторные выражения. Но понять их без обращения за расшифровкой к работам [23,28], на которые ссылается автор, вряд ли возможно. Далее, в таблице 1 на странице 19 фигурирует величина μ, смысл которой объясняется лиши на следующей странице. Некоторая путаница также возникает с обозначениями 4-векторов: временная компонента то действительная, то мнимая.

2. В разделе 3.3 исследуется движение "в поле с потенциалом корнельского типа", в качестве которого предложен потенциал (3.3.3). Мне кажется, что обоснование такого выбора не совсем убедительно. Одного только исследования предела при $\rho \to \infty$ для этого явно недостаточно.

3. Приведенный на рисунке 4.3.1 график (стр. 86) выглядит не убедительно. "Осцилляции" кривой на графике могут быть обусловленны недостаточной точностью численного счета, а не физическими свойствами полного сечения рассеяния.

4. В главе 4 на стр. 65 введено "пространство Гаусса". Вероятно стоило бы объяснить именно такой выбор метрики (4.1.2), а также само название. Кроме того, не совсем понятна цель исследования поведения именно скалярной кривизны, а не, например, скаляра Кречмана, что было бы намного более информативным. И уж совсем непонятна фраза "Установлено, что специфика анализируемого пространства Гаусса заключается в том, что его метрика соответствует **знакопеременной кривизне** (выделено мной — А.Г.)". Во-первых, что такое метрика не соответствует кривизне? Во-вторых, некорректно называть скалярную кривизну кривизной пространства. Корректное определение кривизны пространства как целого имеет смысл лишь для *пространств постоянной кривизны*, которая в этом случае (и только в этом) определяется как $K = \sqrt{\dfrac{|R|}{N(N-1)}}$ (N —

размерность пространства). Кстати, замечу, что обращение в нуль скалярной кривизны не означает, что пространство плоское. Например, для всех вакуумных решений уравнений Эйнштейна, включая решение Шварцшильда, $R = 0$.

5. В диссертации встречаются стилистические неточности и опечатки, но в незначительном количестве. В частности, вместо термина "евклидово пространство" используется термин "евклидовое пространство"; также можно встретить такие не совсем корректные обороты, как, например, "Применение комплексной плоскости ...".

Отмеченные недостатки, которые в большей степени носят технический характер, не снижают высокой оценки диссертации Н.Д. Шайковской.

9. Соответствие научной квалификации ученой степени, на которую она претендует

Ознакомление с диссертационной работой Шайковской Н. Д. позволяет сделать вывод о том, что соискатель обладает высокой степенью самостоятельности и достаточно высокой научной квалификацией, отвечающей требованиям Высшей Аттестационной Комиссии о присуждении степени кандидата физико-математических наук.

10. Общее заключение

Диссертационная работа Шайковской Надежды Дмитриевны "Методы кинематики и феноменологический подход к описанию взаимодействий частиц на основе свойств пространств с кривизной", представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика, является полноценной квалификационной работой, соответствующей требованиям Высшей Аттестационной Комиссии, предъявляемым к кандидатским диссертациям, отрасли физико-математических наук. Автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук за новые научно-обоснованные результаты:

- физически обоснованное определение собственной системы отсчета для сверхсветовых частиц, матрица преобразования Лоренца к этой системе отсчета;

- выражения для длины и радиуса рассеяния для задачи низкоэнергетического рассеяния на прямоугольной потенциальной яме в пространстве Лобачевского, а также явное выражение для длины рассеяния на кулоновском потенциале в этом же пространстве;

- расчет энергетических уровней частицы в потенциальном поле корнельского типа в пространстве Лобачевского, расчет сдвигов фаз при рассеянии на этом потенциале и зависимость длины рассеяния от радиуса кривизны пространства.

- формулы для сдвигов фаз волновой функции в задаче о рассеянии в пространстве Гаусса и для зависимости полного сечения рассеяния от энергии, найденные в квазиклассическом приближении.

Минск, 26 сентября 2024 г.

Официальный оппонент
профессор кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета
доктор физ.-мат. наук профессор А. К. Горбацевич

Я, Горбацевич Александр Константинович, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Государственного научного учреждения "Институт физики имени Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси".

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
Начальник управления
организационной работы и
документационного обеспечения
Н.Б. Черкасская
«26» 09