

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
Научно-исследовательского  
учреждения «Институт ядерных  
проблем» Белорусского  
государственного университета



С.А. Максименко

«26» сентября 2024 г.

### ОТЗЫВ

оппонирующей организации о диссертации

**Шайковской 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

Экспертиза диссертации проводилась в соответствии с требованиями «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий», утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560 (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190), и «Положения о совете по защите диссертаций», утвержденного постановлением Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 22.02.2005 № 19 (в ред. постановлений ВАК от 07.03.2007 № 2, от 21.08.2007 № 5, от 08.06.2009 № 1, от 15.06.2015 № 1, от 19.08.2022 № 2).

Диссертация Шайковской Надежды Дмитриевны выполнена в Государственном научном учреждении «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси» под научным руководством доктора физико-математических наук, профессора Курочкина Юрия Андреевича.

Тема диссертации соответствует пункту «1. Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства: физика фундаментальных взаимодействий микро- и макромира, зарождающиеся технологии (квантовые, когнитивные, нейроцифровые, антропоморфные)» Перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 №156.

## ***1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки***

Диссертация посвящена развитию новых методов кинематики и феноменологического подхода к описанию процессов взаимодействий частиц на основе использования пространств с кривизной, и их применению к решению ряда задач. В работе различными математическими методами исследуется ряд новых задач теоретической физики, относящихся к двум фундаментальным областям: релятивистской кинематике (специальной теории относительности) и нерелятивистской квантовой механике в неевклидовых пространствах. Объединяющим фактором является то, что в обоих случаях применяются и развиваются геометрические методы теоретической физики. Диссертационная работа соискателя Шайковской Н.Д. соответствует пунктам «Развитие и применение фундаментальных физических теорий и феноменологических моделей для описания различных состояний вещества и физических явлений в них», «Квантовая теория поля. Калибровочные теории. Стандартная модель (СМ). Описание фундаментальных взаимодействий вне рамок СМ» и «Математические методы теоретической физики» паспорта специальности 01.04.02 – теоретическая физика и отрасли науки: физико-математические науки.

## ***2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости***

Соискателем самостоятельно проделаны все математические выкладки и численные расчеты. Задача о движении квантово-механической частицы в специальном пространстве Гаусса со знакопеременной кривизной была поставлена соискателем и решена ею в квазиклассическом приближении самостоятельно.

Развитие и применение новых геометрических подходов, основанных на использовании связи между геометрией Лобачевского и пространством 4-импульсов, к решению физических задач является актуальным направлением в физике, поскольку владение эффективными методами расчета кинематических характеристик процессов столкновения частиц позволяет исследователю более быстро находить такие величины как углы рассеяния и импульсы частиц напрямую из геометрического образа. Феноменологический подход к описанию динамики, то есть взаимодействия между частицами, не теряет своей актуальности, что отражается в большом количестве опубликованных разными авторами работ за последние 15 лет. Подход привлекателен тем, что вносит в теорию новые идеи, связанные с геометрическими свойствами неевклидового пространства.

Научная значимость состоит в получении ряда новых результатов, относящихся к области теоретической физики. Показано, что методы

неевклидовой геометрии могут быть эффективно использованы при вычислении инвариантных кинематических характеристик процессов рассеяния частиц. В частности, применение проективных интерпретаций Пуанкаре и Бельтрами-Клейна позволило установить связь экспериментально измеряемых импульсов с их инвариантными геометрическими характеристиками. Длина и радиус рассеяния являются важными характеристиками при низкоэнергетическом рассеянии частиц на атомах. Эти понятия обобщены на случай пространства Лобачевского.

Публикации автора диссертации и содержание диссертационной работы демонстрируют, что Н.Д. Шайковская осуществила научный вклад в успешное решение поставленных научных задач и получила результаты, важные для понимания исследуемых процессов, развития методов теоретической физики и описания новых физических явлений.

### ***3. Конкретные научные результаты, за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень физико-математических наук***

Соискателю может быть присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук за получение следующих новых научных результатов:

1. Предложена новая специальная система отсчета для эффективного описания кинематики упругого столкновения двух частиц разных масс в импульсном пространстве Лобачевского. Описание процесса столкновения с точки зрения наблюдателя в специальной системе отсчета проведено с использованием нескольких геометрических подходов, основанных на связи бикватернионов с векторами пространства Лобачевского и на проективной интерпретации Пуанкаре для плоскости Лобачевского.

2. Получена матрица Лоренца, осуществляющая переход к 4-импульсу сверхсветовой частицы с нулевой временной компонентой от произвольного 4-импульса сверхсветовой частицы.

3. Для случая низкоэнергетического рассеяния нерелятивистской скалярной частицы на сферически-симметричной прямоугольной потенциальной яме в пространстве Лобачевского найдены длина и радиус рассеяния. Получены формулы для полных сечений в приближении длины рассеяния и в приближении радиуса рассеяния. Показано, что в отличие от плоского пространства в поле с кулоновским потенциалом длина рассеяния в пространстве Лобачевского является конечной величиной.

4. Численными методами определены энергии связанных состояний и сдвиги фаз для задачи рассеяния квантово-механической частицы в поле потенциала корнельского типа. Показано, что в данной задаче присутствуют как дискретный, так и непрерывный спектр возможных значений энергии. Установлено наличие такого радиуса кривизны, при котором сечение низкоэнергетического рассеяния равно нулю.

5. В квазиклассическом приближении получены решения задачи о движении частицы в специальном пространстве Гаусса со знакопеременной кривизной, непрерывные в точке поворота, и определены сдвиги фаз волновых функций в задаче о рассеянии. С использованием полученного выражения для сдвигов фаз численными методами найдена зависимость полного сечения от энергии. Показано, что сечение с ростом энергии стремится к постоянному значению.

#### ***4. Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации***

Подход, основанный на использовании пространства Лобачевского, может быть использован для моделирования задач рассеяния на нано-объектах.

Исследование расширенного пространства Лобачевского релятивистских импульсов и преобразований Лоренца к собственной системе отсчета в тахионном секторе, как и задача о рассеянии квантово-механической частицы в пространстве Гаусса могут быть использованы при обучении студентов и аспирантов физических специальностей с целью более глубокого понимания специальной теории относительности и квазиклассического подхода к задачам квантовой механики.

#### ***5. Замечания и предложения по диссертации***

1. В диссертационной работе отсутствует список условных обозначений, что вызывает трудности при чтении работы. Так, например, символ со знаком вектора сверху используется как для обозначения векторной части кватерниона, так и обычного 3-вектора, т. е. читателю необходимо самостоятельно выбирать какой из этих двух объектов имеется в виду.

2. В главе 1 описываются свойства тахионов, но лагранжиан тахиона не приводится, поэтому не ясно, может ли движение тахионов быть описано на основе принципа наименьшего действия, или же на некотором другом принципе. Также желательно указать точку зрения автора: является ли тахион некоторым формальным математическим объектом или же он может соответствовать реальным частицам.

3. В главе 2 задача упругого рассеяния двух частиц неравных масс рассмотрена геометрическим методом на основе пространства Лобачевского 4-скоростей. В тринадцатом параграфе «Теории поля» Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица эта же задача решена методами релятивистской кинематики. Поэтому рекомендуем автору в дальнейшем показать применимость геометрического подхода также к процессам множественного рождения частиц.

4. В главах 3-4 рассматривается задача рассеяния обыкновенных (досветовых) частиц. Рекомендуем автору в дальнейшей работе рассмотреть

также задачу рассеяния тахиона, что помогло бы определиться с методом его экспериментального обнаружения.

Указанные замечания не влияют на высокое качество и значимость диссертационной работы.

***6. Соответствие научной квалификации соискателя учёной степени, на которую он претендует.***

Применение современных методов исследования, высокий научный уровень диссертационной работы, новизна полученных результатов, публикации в рецензируемых журналах, теоретическая и практическая значимость полученных результатов дают основание сделать вывод о соответствии научной квалификации Шайковской Н.Д. ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Диссертационная работа Н.Д. Шайковской представляет собой самостоятельно выполненное законченное научное исследование и соответствует всем требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Шайковская Надежда Дмитриевна, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Отзыв составлен на основании заключения эксперта – кандидата физико-математических наук, доцента Черкаса Сергея Леонидовича.

Отзыв обсужден после представления доклада соискателя на расширенном заседании Ученого совета НИИ ЯП БГУ, проведенного в соответствии с приказом директора от 03.09.2024 № 34/Д, и утвержден открытым голосованием (присутствовало 25 человек, в том числе 10 докторов и 9 кандидатов наук). Протокол заседания Ученого Совета НИИ ЯП БГУ № 7 от 24 сентября 2024 г.

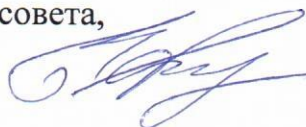
Результаты голосования:

За	– 18,
Против	– 0,
Воздержались	– 0.

Член Ученого совета НИИ ЯП БГУ, доктор физико-математических наук профессор Ю.А. Курочкин, который является научным руководителем соискателя Шайковской Н.Д., участия в голосовании не принимал.

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета дает согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Беларуси.

Заместитель председателя Ученого совета,  
доктор физ.-мат. наук, профессор



Ю.А. Федотова

Эксперт оппонирующей организации,  
кандидат физ.-мат. наук, доцент



С.Л. Черкас

Секретарь Ученого совета,  
кандидат физ.-мат. наук



В.П. Кутавичюс