

**INSTITUTE OF MATHEMATICS AND
DIGITAL TECHNOLOGY**

MONGOLIAN ACADEMY OF SCIENCES

Enkhtaivan avenue 54b, Bayanzurkh district,

Ulaanbaatar 13330, Mongolia

Tel: (976-11) 45 80 90, E-mail: imdt@mas.ac.mn

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Чулуунбаатара Очбадраха
на диссертацию Попова Романа Владимировича
на тему «Спектры позитронов в низкоэнергетических
столкновениях тяжёлых ядер как инструмент для наблюдения
спонтанного распада вакуума в сверхкритическом кулоновском поле»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.3. Теоретическая физика.

Диссертация Попова Р.В. посвящена исследованию возможности наблюдения спонтанного распада вакуума в сверхкритическом кулоновском поле, кратковременно образующемся в столкновениях тяжёлых ядер с суммарным зарядом, превышающим критическое значение. Этот фундаментальный квантово-электродинамический эффект был предсказан более 50 лет назад, но до сих пор не наблюдался, несмотря на огромную работу, проделанную как теоретически, так и экспериментально. Строительство новых экспериментальных комплексов подстёгивает интерес к данной теме и создаёт запрос на проведение расчётов, подобных изложенным в настоящей диссертации и направленных на определение оптимального сценария для проведения эксперимента. В связи с этим актуальность представленного исследования не подлежит сомнению.

В диссертационной работе Попова Р.В. разработан алгоритм и создана программа численного расчёта вероятностей рождения электрон-позитронных пар и энергетических спектров позитронов в низкоэнергетических столкновениях тяжёлых ядер используя мультипольное разложение двухцентрового потенциала ядер по сферическим гармоникам. Особое внимание уделено монопольному приближению. Данный подход основан на формализме квантовой электродинамики с нестабильным

вакуумом. С помощью созданной программы проведены вычисления вероятностей рождения электрон-позитронных пар и энергетических спектров позитронов в столкновениях тяжёлых ядер как с докритическими, так и сверхкритическими параметрами. При этом исследовалось поведение этих величин при рассеянии ядер с фиксированным значением минимального межъядерного расстояния, но разными энергиями.

В рамках монопольного приближения были детально исследованы обнаруженные ранее качественные изменения в поведении вероятностей рождения пар при переходе параметров столкновений из докритической области в сверхкритическую. Предложен способ усиления данных изменений посредством учета позитронов только в той области энергий, где они могут рождаться за счет спонтанного механизма. Было впервые продемонстрировано, что при переходе в сверхкритическую область энергетические спектры позитронов также претерпевают качественные изменения. Данные результаты были уточнены, используя мультипольное разложение двухцентрового потенциала ядер, при этом качественное поведение указанных характеристик при переходе к сверхкритическому режиму не изменилось.

Помимо этого, было также изучено влияние вращения межъядерной оси на вероятность рождения пар. Полученные качественные изменения в вероятностях рождения пар и позитронных спектрах могут свидетельствовать о включении спонтанного канала рождения электрон-позитронных пар в ядерных столкновениях со сверхкритическими параметрами.

Диссертационное исследование изложено на 88 страницах и состоит из Введения, пяти глав, Заключения, списка литературы. Работа хорошо структурирована, аккуратно оформлена, написана хорошим литературным языком. Во Введении формулируется объект исследования, ставятся цель и задачи работы, в общем виде определяются методы исследования. Вместе с этим во введении описана актуальность, новизна работы, перечислены положения, выносимые на защиту, апробация работы и научные публикации, на основе которых подготовлена диссертация.

Первые 3 главы посвящены описанию физических аспектов, используемых в диссертации, таких как сверхкритический резонанс и процесс спонтанного распада вакуума; формализм квантовой электродинамики с нестабильным вакуумом в картине Фарри; набор

траекторий столкновений для наблюдения перехода в сверхкритический режим.

В главе 4 представлены численные методы решения стационарного и нестационарного уравнений Дирака со сферически-симметричным потенциалом. С их помощью в монополюльном приближении проведены исследования вероятностей рождения электрон-позитронных пар и энергетических спектров позитронов в низкоэнергетических столкновениях тяжелых ядер (от висмута до кюрия) в зависимости от расстояния наибольшего сближения и отношения энергий центрального и нецентрального столкновений.

В Главе 5, численные методы решения стационарного и нестационарного уравнений Дирака, описанные в главе 4, адаптированы на аксиально-симметричный случай с учётом и без учёта вращения ядерной оси. В расчетах использовано мультиполюльное разложение двухцентрового потенциала ядер по сферическим гармоникам в системе центра масс. Исследовано влияние старших членов мультиполюльного разложения двухцентрового потенциала на результаты, полученные в Главе 4.

В **Заключении** суммируются основные результаты проведенных исследований.

В целом, диссертационная работа Попова Р.В. представляет собой законченное научное исследование – научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задач, имеющих существенное значение для теоретической физики связанных состояний. Научные положения, выносимые на защиту, и выводы представляются хорошо обоснованными, их достоверность и новизна не вызывают сомнений. Основные результаты диссертационного исследования отражены в трех статьях, опубликованных в международных высокорейтинговых научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, и докладывались лично автором на международной и российской конференциях.

Однако, к диссертации имеются замечания, которые могут послужить перспективными направлениями развития научных исследований в данной предметной области:

1. Обзор литературы выполнен довольно кратко по части описания конкретных теоретических и экспериментальных работ, выполненных к

настоящему моменту времени. Можно было бы раскрыть этот пункт немного подробнее.

2. Параметры R_{\min} и η , оказались удобными в теоретических вычислениях, но являются трудно определяемыми экспериментально. Поэтому было бы полезно представить результаты относительно других параметров столкновения, например, в зависимости от энергии столкновения и прицельного параметра.
3. В тексте диссертации встречаются опечатки, например, два крайних значения критического межъядерного расстояния для двух ядер урана в Таблице 1 располагаются в столбцах, отвечающих базисам с $|k|_{\max} = 7, 9$. В тоже время в Таблице 2 те же самые два значения находятся в столбцах с $|k|_{\max} = 9, 13$.
4. Полиномы Лежандра и частичная вероятность обозначены одинаково.
5. Аббревиатура “дуального кинетического баланса” написана на английском.

Данные замечания, однако, не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

Диссертация Попова Романа Владимировича на тему «Спектры позитронов в низкоэнергетических столкновениях тяжёлых ядер как инструмент для наблюдения спонтанного распада вакуума в сверхкритическом кулоновском поле» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 №11181/1 «О порядке присуждения учёных степеней в Санкт-Петербургском государственном университете».

Соискатель Попов Роман Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Нарушение пунктов 9 и 11 указанного порядка в диссертации не установлены.

Член диссертационного совета

доктор физико-математических наук,

академик, ведущий научный сотрудник

Института математики и цифровой технологии

Монгольской академии наук

(Institute of Mathematics and Digital Technology,

Mongolian Academy of Sciences),

Монголия (Mongolia).

Tel: +976-78030927

e-mail: chuka@mas.ac.mn



Чулуунбаатар Очбадрах
(Chuluunbaatar Ochbadrakh)

«11» февраля 2025 года