

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Петрова Александра Николаевича 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 научной специальности

### 1.3.3. Теоретическая физика.

Одним из наиболее интересных явлений, предсказываемых квантовой электродинамикой, является спонтанное рождение электрон-позитронных пар в большом (сверхкритическом) электрическом поле. Еще в 60-ых годах прошлого века было теоретически показано, что при достижении энергии незанятого связанного состояния отрицательно-энергетического континуума будет происходить самопроизвольное перестройка вакуума и рождение электрон-позитронных пар. Однако экспериментально такое явление до сих пор не наблюдалось. Связано это с трудностью экспериментального достижения сверхкритического электрического поля. Например, электрические поля ныне синтезируемых ядер сверхтяжелых элементов много меньше сверхкритического. Такое поле, тем не менее, может достигаться в низкоэнергетических столкновениях ядер сверхтяжелых элементов. Такой процесс ранее был детально изучен в работах зарубежных теоретических групп и был сделан неутешительный вывод, что без слипания ядер на короткое время большая вероятность динамического рождения электрон-позитронных пар не позволит наблюдать их спонтанное рождение. Этот вывод, однако, был опровергнут в дальнейших работах российских ученых. Было показано, что сравнение вероятностей рождения пар для специальным образом выбранных траекторий столкновения сверхтяжелых ядер позволит выделить спонтанное рождение электрон-позитронных пар на фоне динамического.

Диссертация Попова Романа Владимировича посвящена развитию методов и проведению расчетов рождения электрон-позитронных пар в низкоэнергетических столкновениях ядер тяжелых элементах. Проведенные расчеты позволяют определить экспериментальные условия для наблюдения спонтанного рождения пар на фоне динамического. Актуальность и своевременность работы связана также со строительством в России и за рубежом соответствующих экспериментальных установок.

Диссертация состоит из Введения, пяти Глав, Заключение и Списка литературы. По теме диссертации опубликовано 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ и входящих в базы данных РИНЦ, Web of Science и Scopus. Во Введении описывается актуальность темы, обзор предыдущих исследований, разработанность темы, основные положения выносимые на защиту, личный вклад автора. В главе 1 вводятся основные понятия необходимые для понимания результатов диссертации. Описывается природа сверхкритического резонанса и его связь с распадом вакуума и рождением электрон-позитронных пар. Качественно описывается процесс, происходящий с кулоновской системой, когда ее связанное состояние достигает отрицательно-энергетического континуума. В главе 2 рассматривается общий формализм. Выводятся формулы для вычисления вероятностей рождения пар на основе решений нестационарного уравнения Дирака. В главе 3 рассматриваются классические траектории столкновения ядер.

Рассматривается семейство траекторий с одинаковым минимальным расстоянием. Вводится параметр  $\eta$  равный отношению энергий в данном семействе траекторий. Рассматривается связь параметра  $\eta$  с прицельным расстоянием и углом рассеяния. В главе 4 описываются детали численного расчета и результаты расчетов в монополюльном приближении. Детально описывается основной результат диссертации. Обсуждаются особенности поведения вероятностей рождения пар для различных траекторий столкновения при наличии и отсутствии спонтанного рождения. В главе 5 проводятся расчеты за рамками монополюльного приближения. Показано качественное согласие с результатами, полученными в монополюльном приближении.

Диссертация написана ясным языком, хорошо структурирована, проиллюстрирована большим количеством рисунков. Детальное описание методов расчетов не оставляют сомнения в достоверности результатов. Также дается их качественное объяснение. Где возможно, результаты сравниваются с ранее проведенными расчетами и находятся в очень хорошем согласии.

Центральным моментом в диссертации является утверждение, что увеличение вероятности рождения электрон-позитронных пар при  $\eta \rightarrow 1$  следует рассматривать как признак спонтанного рождения. При этом автор отмечает, что, строго говоря, эффектом интерференции между спонтанным и динамическим рождением пар при этом выводе пренебрегается. Эффект интерференции упоминается и при интерпретации результатов в других параграфах. В диссертации, однако, не обсуждается с какой точностью возможно выделить численные вклады от спонтанного и динамического эффектов и их интерференции в полученных вероятностях рождения электрон-позитронных пар.

Указанное замечание не имеет принципиального характера и не снижает высокую оценку проведённой 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 ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Попов Роман Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Председатель диссертационного совета

д.ф.-м.н., доцент,

профессор кафедры квантовой

механики СПбГУ

18.02.2025



Петров А.Н.