

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе Федерального



государственного автономного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный  
исследовательский университет ИТМО»

доктор технических наук, профессор

В.О. Никифоров

«10» февраля 2025 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» на диссертационную работу Попова Романа Владимировича «Спектры позитронов в низкоэнергетических столкновениях тяжёлых ядер как инструмент для наблюдения спонтанного распада вакуума в сверхкритическом кулоновском поле», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

#### **Актуальность темы диссертационной работы и соответствие специальности.**

Диссертационная работа Попова Романа Владимировича посвящена исследованию возможности наблюдения спонтанного распада нейтрального квантово-электродинамического вакуумного состояния в сверхкритическом кулоновском поле. Такое поле может кратковременно образовываться в столкновениях тяжёлых ядер с суммарным зарядом, превышающим критическое значение. Для этого ядра должны сблизиться на расстояние меньше критического. Спонтанный распад вакуума является фундаментальным эффектом квантовой электродинамики. Прямым доказательством его существования было бы детектирование позитронов, спонтанно рождённых в результате такого распада. Но в ядерных столкновениях позитроны также рождаются динамически, за счёт временной зависимости суммарного потенциала ядер. Вследствие малой продолжительности сверхкритического режима по сравнению с временем жизни сверхкритического резонанса выделение вклада от спонтанно рождённых позитронов на

фоне динамических представляет очень сложную задачу. Предположение о существовании спонтанного распада вакуума было высказано в 1969 году в работах советских и немецких физиков. С тех пор было проведено большое количество теоретических и экспериментальных исследований по его наблюдению. Однако они не увенчались успехом. В связи с этим задача по поиску способов наблюдения свидетельств спонтанного распада вакуума, чему посвящена настоящая диссертация, сохраняет свою актуальность и обладает высокой научной значимостью. Строительство новых экспериментальных установок для ион-атомных столкновений также стимулирует дополнительный интерес к этой теме, и создаёт запрос на исследования по определению оптимального сценария для наблюдения данного фундаментального эффекта.

Проблематика работы, её цели и задачи, а также применённые автором подходы и методы подтверждают соответствие данного диссертационного исследования паспорту специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

**Научная новизна работы.** В работе был разработан метод численного расчёта вероятностей рождения электрон-позитронных пар и энергетических спектров излучаемых позитронов в низкоэнергетических столкновениях тяжёлых голых ядер за рамками монопольного приближения. С помощью данного метода были произведены вычисления вероятностей рождения пар и позитронных спектров в большом диапазоне параметров столкновений. При этом исследовалась зависимость этих величин от энергии столкновения при рассеянии ядер по траекториям с фиксированным расстоянием наибольшего сближения. Не так давно в работе, соавтором которой является Попов Р. В., но которая не вошла настоящую диссертацию, было показано в монопольном приближении, что поведение вероятности рождения пар в таких столкновениях качественно меняется, когда суммарный заряд ядер достаточно сильно превышает критическое значение. В настоящей диссертации это исследование было продолжено и существенно расширено. Глава 4 диссертации посвящена расчётам в монопольном приближении. В ней детально показано, как изменяется поведение вероятности рождения пар, когда суммарный заряд ядер и минимальное межъядерное расстояние достаточно глубоко погружаются в сверхкритическую область. Также предложен механизм усиления этих изменений посредством учёта только той части позитронов, энергии которых находятся в области, характерной для спонтанного механизма рождения. Основным результатом четвёртой главы является обнаружение качественных изменений в энергетических спектрах позитронов при переходе параметров столкновений от докритических к сверхкритическим. Глава 5 посвящена

---

более точным расчётам за рамками монопольного приближения. В ней показано, что все качественные изменения в поведении вероятностей и энергетических спектров, выявленные в монопольном приближении, сохраняются и при учёте старших членов мультипольного разложения суммарного потенциала ядер. Помимо этого также показано, что влияние вращения межъядерной оси на исследуемые величины является пренебрежимо малым в случае низкоэнергетических столкновений с малыми прицельными параметрами. Данные результаты ранее не демонстрировались и являются новыми.

**Достоверность полученных в диссертационной работе результатов** была подтверждена сравнением с результатами независимых теоретических исследований. Результаты проведённого автором исследования были представлены на международных и всероссийских конференциях, а также опубликованы в мировых ведущих рецензируемых научных журналах.

**Значимость полученных результатов диссертационного исследования** заключается в том, что обнаруженные качественные изменения в спектрах позитронов впервые показывают принципиальную возможность наблюдения свидетельств перехода в сверхкритический режим в столкновениях тяжёлых ядер. Ранее считалось, что такие свидетельства могут быть обнаружены только в случае слипания ядер на какое-то время в процессе столкновения. Развитая методика расчёта может быть полезна в дальнейшем для планирования эксперимента и интерпретации его результатов.

**В качестве вопросов и замечаний можно отметить следующие:**

- При вычислениях вероятностей рождения пар и энергетических спектров позитронов энергия столкновения ядер считалась строго фиксированной. Однако реальные ядерные пучки всегда имеют некоторое распределение по энергии. Поэтому было бы неплохо исследовать, как эта неопределённость в энергии столкновения может повлиять на исследуемые величины.
- Даже с учётом развития экспериментальных возможностей, реализация низкоэнергетических столкновений голых ядер представляется сейчас весьма затруднительной. В связи с этим имеет смысл проанализировать, как наличие дополнительных изначально связанных электронов на ядрах скажется на обнаруженных признаках перехода к сверхкритическому режиму.

---

Следует отметить, что эти замечания не носят принципиального характера и не снижают высокую оценку рассматриваемой диссертации Попова Р.В.

### **Заключение**

Характеризуя диссертационную работу в целом, необходимо отметить, что она является законченным исследованием, в рамках которого было решено несколько важных научных задач. Диссертация свидетельствует о личном вкладе автора в область квантовой электродинамики в сильных электромагнитных полях. Диссертационная работа Попова Романа Владимировича выполнена на высоком научном уровне, текст хорошо структурирован, основные результаты являются новыми, имеют высокую значимость, изложены логично и ясно.

Заключение ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» на диссертационную работу Попова Романа Владимировича «Спектры позитронов в низкоэнергетических столкновениях тяжёлых ядер как инструмент для наблюдения спонтанного распада вакуума в сверхкритическом кулоновском поле», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика, является положительным.

Диссертационная работа Попова Романа Владимировича «Спектры позитронов в низкоэнергетических столкновениях тяжёлых ядер как инструмент для наблюдения спонтанного распада вакуума в сверхкритическом кулоновском поле» является завершённым научным исследованием. Рукопись диссертации соответствует пункту 1 паспорта специальности 1.3.3. Теоретическая физика и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук, установленных пунктом 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 и требованиям, установленным приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения учёных степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а её автор Попов Роман Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Карловцем Дмитрием Валерьевичем, профиль 1.3.3 Теоретическая физика.

Результаты диссертации и отзыв на диссертацию обсуждены и одобрены на семинаре Физического факультета Университета ИТМО.

Ведущий научный сотрудник  
Университета ИТМО,  
доктор физико-математических наук

Карловец Д.В.

Подпись  
удостоверяю  
Менеджер ОПС  
Пономарева О.Б.



**Сведения о ведущей организации:**

**Полное наименование организации на русском языке:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

**Сокращённое наименование организации на русском языке:** Университет ИТМО

**Почтовый (фактический) адрес организации:** 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

**Адрес официального сайта в сети Интернет:** <https://itmo.ru/>

**E-mail:** [od@itmo.ru](mailto:od@itmo.ru)

**Контактный телефон:** +7 (812) 480-00-00