

Отзыв научного руководителя

на диссертацию Роевко Артёма Александровича

“Магнитные эффекты квантовой электродинамики в системах с критическим и закритическим зарядом”, представленную на соискание учёной степени кандидата

физико-математических наук по специальности

01.04.02 — теоретическая физика.

В последнее время большой интерес вызывает исследование эффектов квантовой электродинамики (КЭД) в сильных статических или адиабатически медленно меняющихся кулоновских полях локализованных источников заряда типа сверхтяжелого ядра или кластера тяжелых ионов с суммарным зарядом $Z > 170$, когда теория предсказывает ряд принципиально новых непертурбативных эффектов, связанных с перестройкой вакуумного состояния. Хотя данный вопрос активно исследовался начиная с конца 60-х годов прошлого века, многочисленные эксперименты на тяжелоионных ускорительных комплексах GSI (Дармштадт) и в Аргоннской Национальной Лаборатории (США) 70-90-ых годов так и не привели к однозначному заключению о статусе закритической области. Тем не менее исследование предсказываемых КЭД следствий непертурбативной перестройки вакуума по-прежнему представляет фундаментальный интерес, особенно ввиду планируемых новых экспериментов по столкновению тяжёлых ионов на возводимых в ближайшее время тяжелоионных ускорителях FAIR (Дармштадт, Германия), HIAF (Китай) и NICA (Дубна). Большое количество опубликованных в последнее время работ по этой тематике показывает, что вопрос о вакуумных КЭД-эффектах в сверхкритических кулоновских полях может оказаться намного сложнее, чем предполагалось ранее. В частности, последние результаты вычисления вакуумной энергии в закритической области указывают на её существенно непертурбативное поведение, что может приводить к принципиально новым эффектам.

Диссертация Роевко А. А. посвящена исследованию роли процессов с обменом виртуальными фотонами в закритической области и возможности компенсации за их счёт нелинейного поведения вклада от фермионных петель. Поскольку полноценный непертурбативный анализ данных процессов в настоящее время не представляется возможным, основное внимание уделялось эффективному взаимодействию аномального магнитного момента (АММ) электрона с кулоновским полем сверхтяжёлых ядер, которое описывается с помощью локального самоспряженного оператора, допускающего детальный непертурбативный учёт. Отметим, что данное взаимодействие само по себе представляет отдельный интерес и интенсивно изучалось в контексте возможных

резонансов в системах типа $e+e^-$ за счёт возрастания роли магнитных эффектов на малых расстояниях.

В работе были получены следующие результаты. Показано, что для сверхсильных кулоновских полей, а также на малых расстояниях от кулоновского источника, принципиальную роль играет учёт динамической экранировки АММ. Было получено выражение для потенциала эффективного взаимодействия АММ электрона с кулоновским полем сверхтяжёлого ядра, а также произведён его всесторонний анализ. Кроме того, был разработан и реализован эффективный метод решения двухцентрового уравнения Дирака, позволяющий находить с высокой точностью (10^{-6}) энергию электронных уровней и их сдвиги за счёт АММ в системах двух близко расположенных сверхтяжёлых ядер. С помощью данного подхода была вычислена такая важная характеристика процессов столкновения тяжёлых ионов, как критическое расстояние между ядрами (для нижних чётного и нечётного электронного уровня), причём ряд полученных значений существенно уточняет полученные ранее с помощью других методов оценки.

Произведённые непертурбативные расчёты для водородоподобного иона и ядерной квазимолекулы показывают, что сдвиг электронных уровней за счёт АММ вблизи порога нижнего континуума убывает с ростом заряда, а также размеров системы кулоновских источников. И хотя сдвиг за счёт АММ электрона представляет из себя лишь часть собственно энергетического вклада в полный радиационный сдвиг уровней, для нижних уровней их поведение в зависимости от заряда ядра в водородоподобном ионе качественно совпадает. Этот факт позволяет сформулировать обоснованное предположение о том, что и весь вклад от процессов с обменом виртуальными фотонами в закритической области также убывает, и таким образом, не сможет полностью компенсировать существенно непертурбативный вклад от фермионных петель.

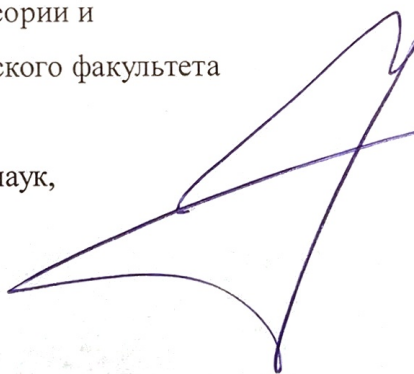
Полученные результаты представляют большое значение для квантовой электродинамики сверхсильных кулоновских полей, поскольку представляют из себя первую оценку масштаба и поведения эффектов, обусловленных процессами с испусканием виртуальных фотонов в закритической области, позволяющую сделать выводы в том числе и о роли непертурбативности в этих процессах. Нет сомнений, что полученные результаты будут затребованы при анализе критических явлений в КЭД, а дальнейшая работа в данном направлении внесёт свой вклад в разработку научной программы экспериментальных исследований в процессах столкновения тяжёлых ионов.

Все результаты, выносимые на защиту, опубликованы в 4 печатных работах в рецензируемых международных журналах, индексируемых в базах Web of Science, Scopus и RSCI (Physical Review A; International Journal of Modern Physics A; Письма в ЭЧАЯ // Physics of Particles and Nuclei Letters), и неоднократно докладывались на национальных и международных конференциях и семинарах по физике тяжелых ионов.

В ходе выполнения работы Роенко А. А. продемонстрировал себя как высококвалифицированный специалист по теоретической физике, прежде всего в области квантовой теории, способный быстро разбираться в новом материале, самостоятельно ставить и решать научные задачи, а также успешно реализовывать сложные и громоздкие вычислительные алгоритмы. Диссертация Роенко А. А. выполнена на высоком уровне.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.02 — теоретическая физика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертация Роенко Артёма Александровича рекомендуется к защите по специальности 01.04.02 — теоретическая физика в диссертационном совете МГУ.01.06.

Профессор кафедры квантовой теории и
физики высоких энергий физического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова,
Доктор физико-математических наук,
Профессор



К. А. Свешников
19.10.2018

Подпись К. А. Свешникова заверяю
Учёный секретарь Учёного Совета физического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова,
Доктор физико-математических наук,
Профессор



В. А. Караваев