

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Роевко Артёма Александровича
на тему: «Магнитные эффекты квантовой электродинамики в системах с
критическим и сверхкритическим зарядом»
по специальности 01.04.02 — «теоретическая физика»

Для сверхкритической области по $(Z\alpha)$ квантовая электродинамика предсказывает ряд нетривиальных вакуумных эффектов, наиболее известным из которых является рождение позитронов и возникновение ненулевого вакуумного заряда при погружении в нижний континуум незаполненных дискретных электронных уровней. Однако, несмотря на более чем полувековую историю вопроса и целую серию экспериментов по столкновению тяжёлых ионов до сих пор не было получено надёжных экспериментальных свидетельств этих процессов, и теоретические исследования систем со сверхкритическим кулоновским зарядом источников не теряют своей актуальности и остаются востребованными. В частности, остаётся до конца не изученным вопрос о роли непertурбативности в радиационных КЭД эффектах при $Z\alpha > 1$. По этой причине также представляет интерес исследование отдельных эффектов, обусловленных процессами с обменом виртуальными фотонами. Одним из них является взаимодействие аномального магнитного момента (АММ) электрона с внешним полем, которое примечательно тем, что описывается локальным оператором и может быть дополнительно учтено в исходном уравнении Дирака для электрона в поле тяжёлого ядра. Диссертационная работа Роевко А. А. посвящена исследованию обусловленных АММ сдвигов электронных уровней в водородоподобном атоме, а также в системе двух близко расположенных ядер, при критическом и сверхкритическом заряде источников. При этом было рассмотрено взаимодействие за счёт АММ не

только в виде оператора Дирака-Паули, но и в случае, когда при построении потенциала эффективного взаимодействия аномального магнитного момента электрона с внешним электромагнитным полем полностью учитывается зависимость формфактора электрона от переданного импульса, что ранее подробно не рассматривалось. Также в работе представлен метод решения двухцентрового уравнения Дирака, основанный на мультипольном разложении кулоновского потенциала, а также взаимодействия за счёт АММ, причём все кулоновские мультипольные моменты вычисляются аналитически. Проведён анализ сходимости предложенного подхода, были рассчитаны критические расстояния между двумя ядрами, и вычисленные значения уточняют результаты, полученные с использованием других методов.

В первой главе представлен литературный обзор по проблеме критического заряда в квантовой электродинамике. Перечислены результаты последних работ по данной теме, обозначены актуальные направления дальнейших исследований.

Вторая глава посвящена изучению сдвигов электронных уровней в водородоподобном ионе, обусловленных наличием у электрона аномального магнитного момента. Сначала проведён анализ поведения электронных уровней, когда в уравнении Дирака дополнительно учитывается оператор Дирака-Паули. Поскольку в случае точечного источника введение такого дополнительного слагаемого в уравнении Дирака меняет асимптотики волновых функций в нуле и восстанавливает самосопряжённость гамильтониана при $Z\alpha > 1$, то поведение электронных уровней в такой системе при сверхкритических зарядах ядра является сугубо непертурбативным. В случае протяжённого ядра, однако, различие между пертурбативным и непертурбативным способом вычисления сдвигов уровней составляет $\sim 10\%$. Далее показано, каким образом может быть выполнен учёт зависимости формфактора электрона от переданного импульса, и что это приводит к существенному подавлению данных эффектов на малых

расстояниях от кулоновского источника. Получены аналитические выражения для потенциала взаимодействия АММ с полем точечного и протяжённого ядра в этом случае. Оказывается, что теперь непertурбативный и пертурбативный результаты для величины сдвига уровней в водородоподобном ионе дают практически совпадающие результаты даже для сверхкритических зарядов ядер. Далее представлены результаты вычисления сдвигов различных электронных уровней в зависимости от Z . Оказывается, что при $Z\alpha > 1$ их степенное поведение оказывается немонотонным, тем не менее величина сдвига уровней вблизи порога нижнего континуума по абсолютной величине убывает, несмотря на рост соответствующего критического заряда ядра.

В третьей главе представлены результаты вычисления сдвигов за счёт АММ в компактных ядерных квазимолекулах в зависимости от заряда ядер и расстояния между ними. Показано, что с увеличением межъядерного расстояния (то есть размеров системы кулоновских источников) величина сдвига вблизи границы нижнего континуума также убывает, хотя суммарный заряд ядер при этом увеличивается, а по мере приближения ядер поведение сдвигов оказывается всё ближе к случаю одного ядра, рассмотренному во второй главе. Были с хорошей точностью вычислены критические расстояния между ядрами для нижнего чётного и нечётного уровня в такой системе в диапазоне $87 < Z < 100$, проведено сравнение с результатами, полученными другими авторами, где это возможно. Стоит отметить, что если для нижнего чётного уровня аналогичные вычисления ранее выполнялись в ряде других работ (но другими методами), то для нижнего нечётного уровня почти все полученные результаты являются новыми и существенно уточняют предыдущие оценки, полученные в рамках монопольного приближения.

В приложениях представлены аналитические выражения для нескольких первых мультипольных моментов двухцентрового кулоновского потенциала, более подробно приведены результаты вычисления сдвигов уровней в водородоподобном ионе с помощью различных методов.

В качестве замечания отметим, что вычисленные в работе сдвиги электронных уровней за счёт взаимодействия аномального магнитного момента электрона представляют из себя только часть собственно энергетического вклада в полный радиационный сдвиг уровней. Тем не менее, полученные результаты включают в себя неаналитическую зависимость от α/π , несмотря на использование однопетлевого выражения для формфактора электрона, и позволяют судить о возможном поведении радиационных КЭД эффектов в той области, где пока нет других результатов.

Диссертационная работа А.А. Роенко представляет законченное научное исследование, содержащее новое решение актуальной научной задачи — проведение непертурбативного анализа сдвигов электронных уровней в системах с критическим и закритическим зарядом источников. Основные результаты диссертации были своевременно опубликованы в 4 статьях в журналах, индексируемых в базах Web of Science, Scopus, Russian Science Citation Index. Все полученные результаты являются новыми, их достоверность и обоснованность не вызывает сомнений.

Автореферат достаточно полно и достоверно отражает содержание диссертации.

В целом диссертация отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода: 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 ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что соискатель Роенко Артём Александрович безусловно заслуживает присуждения учёной степени

