

Отзыв

на автореферат диссертации Шишмарева Алексея Александровича «Некоторые вопросы квантовой электродинамики сильного электрического поля, заданного потенциалами ступенчатого типа», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

В диссертации А. А. Шишмарева изучается рождение пар в сильных электрических полях. Она состоит из двух глав, в первой рассмотрены информационные аспекты рождения пар в однородном зависящем от времени поле, а во второй – различные аспекты рождения пар в постоянном неоднородном электрическом поле, заданном потенциалом типа потенциальной ступени.

Актуальность тематики диссертации обусловлена тем, что, хотя основные положения соответствующей теории и были разработаны уже достаточно давно, однако в последнее время вновь привлекают серьезное внимание, поскольку: 1) множественное рождение пар может реализовываться в экспериментах по столкновениям тяжелых ионов; 2) рождение пар в КЭД является одним из простейших примеров непертурбативного эффекта и служит полезной аналогией при рассмотрении КХД процессов, эффектов Унру и Хокинга и других известных непертурбативных эффектов КТП; 3) рождение пар внешним полем может также иметь место при наблюдаемых астрофизических процессах; 4) всерьез обсуждается возможность достижения пороговой для рождения пар (швингеровской) интенсивности лазерного поля на лазерных установках в относительно скором будущем; 5) как выяснилось, аналог рождения пар определяет транспорт носителей заряда в недавно открытых новых наноматериалах, таких как полуметаллы Вейля, топологические изоляторы и графен.

Как справедливо отмечено в автореферате и во введении к диссертации, одна из принципиальных проблем существующей теории состоит в том, что она изначально приспособлена для постановки таких задач, в которых действие внешнего поля ограничено (включается и выключается) во времени. В то же время, представляют принципиальный интерес и такие задачи, в которых поле неоднородно, но при этом постоянно во времени (например, парадокс Клейна, задача о перестройке вакуума вблизи сверхкритического ядра и эффект Хокинга для вечной черной дыры). Простейшим примером таких полей как раз

и являются поля типа вечных потенциальных ступеней, рассматриваемые в диссертации. В таких задачах идентификация пространственно-временных in- и out- областей и построение соответствующих свободных квантований, определяющих начальные условия и наблюдаемые, зачастую оказываются нетривиальными.

Научная новизна: В диссертации получен ряд новых результатов:

- В рамках квантовой электродинамики с точным учетом внешних зависящих от времени полей построен явный вид матрицы плотности, редуцированной в процессе измерения числа рожденных из вакуума пар, электронов или позитронов. Вычислена энтропия фон Неймана для электронной и позитронной подсистем полной квантовой системы, находившейся в начальный момент времени в вакуумном или равновесном состоянии. Вычислена энтропия фон Неймана для матрицы плотности с начальным вакуумным условием, редуцированной в результате измерения числа рожденных из вакуума пар, электронов или позитронов. Полученные в диссертации формулы существенно обобщают и развивают результаты, опубликованные ранее в работах [38,77], а также в работах других авторов [19–22].

- Впервые исследованы характеристики системы, связанные с нестабильностью вакуума в присутствии постоянного электрического пикового поля: вычислены дифференциальные и интегральные числа частиц, рождаемых таким полем из вакуума. Предлагаемая модель пикового поля является новой и составлена из двух участков, на каждом из которых поле меняется экспоненциально (наличие точных аналитических решений уравнений Дирака и Дирака-Гейзенберга-Вигнера в поле, экспоненциально меняющемся в пространстве или во времени, соответственно, ранее обсуждалось в работе [50] и Билиницким-Бирулой с соавторами). Важной особенностью предложенной в диссертации модели по сравнению с другими известными в литературе моделями является возможность изучения особенностей рождения пар, вызванных асимметрией пика.

- Впервые исследованы информационные свойства рождения пар в полях ступенчатого типа: построен явный вид общей матрицы плотности и редуцированных матриц плотности для электронной и позитронной подсистем. Вычислена энтропия фон Неймана, соответствующая этим матрицам плотности. Эта часть диссертации развивает результаты, полученные ранее в работах [63, 86].

Достоверность полученных в работе результатов объясняется их внутренней самосогласованностью и совпадением в частных случаях с известными ранее результатами. Все полученные в диссертации результаты опубликованы в журналах *Physical Review A* и *Physical Review D* [39, 74, 75].

Критические замечания:

1) В диссертации и в автореферате отсутствуют рисунки. На мой взгляд, графическая иллюстрация формул типа (1.4.5), выбора *in*- и *out*-решений в пп. 2.1.3–2.1.5, а также анализа формул и асимптотик, полученных в пп. 2.2.3–2.2.6, могла бы существенно украсить работу и безусловно значительно повысила бы ее читаемость;

2) В диссертации неоднократно (на стр. 7, 53, 61) упоминается вклад работ Никишова [7, 57]. В частности, из контекста следует, что, согласно соискателю, эти работы были «эвристическими» и были выполнены в рамках «релятивистской квантовой механики», а не квантовой теории поля. На мой взгляд, это утверждение некорректно: сам Никишов в своих работах всегда утверждал, что работает именно в рамках квантовой теории поля (собственно, он известен именно как один из родоначальников квантовополевого подхода к рождению пар), а именно в данном случае – в рамках фейнмановского подхода, основанного на функциях Грина, а не на операторных разложениях квантованного поля. Однако в контексте его публикации в Трудах ФИАН, где переизложение [7, 75] соседствует с рассмотрением [5–7] случая полей, зависящих от времени, из их сравнения сразу видно, что все формулы для разложений *out*-решений по *in*-решениям в обоих случаях совершенно аналогичны, что автоматически означает аналогию и преобразований Боголюбова (связи соответствующих операторов). Далее, на стр. 53 диссертации указано, что в литературе имеется некоторое расхождение, а именно – что в [58, 9] использовалось определение *in*- и *out*- состояний, отличное от принятого в [7, 57] (это расхождение позднее обсуждалось самим Никишовым в работе [62]). В п. 2.1.5 диссертации с самого начала принимается буквально то же определение, что и в работах Никишова [7, 57], однако я не нашел сколь-нибудь детального обсуждения того, почему все-таки, по мнению автора, неправильно определение, принятое в [58, 9] (а на самом деле и во многих других последующих работах и монографиях). В частности, совпадают ли вычисленные в этих подходах вероятности рождения пар, и если да, то не являются ли эти альтернативные определения на самом деле эквивалентными?

3) В п. 2.3 диссертации обсуждается условие унитарной эквивалентности для начального и конечного пространств Фока для КЭД с постоянными внешними электрическими полями. Это обсуждение сводится к следующему:

- сперва обсуждается вывод условия (2.3.5), согласно которому, унитарная эквивалентность означает конечность числа частиц. Этот результат имеет общий характер, хорошо известен (хотя и не содержится явно в основополагающей книге Березина) и по существу тавтологичен, поскольку по определению фоковское пространство содержит все состояния с конечным числом частиц и не содержит состояний с их бесконечным числом.

- Вторая же часть обсуждения сводится к одной фразе (стр. 86): «Очевидно, что для реалистичных внешних полей, заключенных в ограниченной области пространства-времени, это условие выполняется». На мой взгляд, если данный вопрос уже затронут, то он, даже будучи тривиальным, все же заслуживает более подробного и строгого обоснования. Более того, на мой взгляд, в случае рассматриваемых в этой главе потенциалов ступенчатого типа, более естественным является рассмотрение процесса рождения пар не за конечное время, а на бесконечном промежутке времени, а в таком случае выполнение условия (2.3.5) без учета обратного влияния вообще неочевидно.

- Далее несколькими строчками ниже читаем: «Неравенство (2.3.3), полученное в рамках КЭД с внешними полями, заданными потенциальными степенями, можно рассматривать как дополнительно подтверждение согласованности теории и верной интерпретации in- и out-частиц в ней». С этим утверждением я вообще категорически не согласен: поскольку квантовомеханический вектор состояния не является непосредственно наблюдаемым, унитарная эквивалентность in- и out- фоковских пространств или ее отсутствие является математической тонкостью, но не имеет вообще никакого физического значения. Примерами ситуаций, в которых она заведомо отсутствует, являются: вечные эффекты Хокинга и Унру, реликтовое излучение в открытой космологической модели, и даже любая локальная квантовая теория поля со взаимодействием, например, Стандартная Модель (в последнем случае это утверждает теорема Хаага). Для математически строгого рассмотрения таких задач используют, например, алгебраический подход к КТП.

Отмеченные недостатки, впрочем, ни в коей мере не являются критическими, и не умаляют полученные в диссертации результаты.

Соответствие требованиям: Автореферат отражает содержание диссертационной работы верно и полно, в нем последовательно описаны методы исследований и результаты, показана их теоретическая и практическая значимость, а также обоснована достоверность научных положений, выносимых на защиту. Считаю, что работа соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным действующим «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Доцент кафедры теоретической ядерной физики
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»,
(115409, Москва, Каширское ш., 31; 8 (495) 788-56-99,
8 (499) 324-77-77; info@mephi.ru; https://mephi.ru),
кандидат физико-математических наук
(диссертация защищена по специальности
01.04.02 – теоретическая физика)

Федотов Александр Михайлович
Тел.: +7 (495) 788 56 99, доб. 9376
e-mail: AMFedotov@MEPhI.ru
<https://home.mephi.ru/ru/users/4250/public>

01.10.2018

Даю свое согласие на обработку персональных данных.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
ЗАМ. ДИРЕКТОРА ПО
ПЕРСОНАЛУ НИЯУ МИФИ
Л. В. ВАСИЛЬЧЕНКО

