

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физ.-мат. наук Чуприкова Николая Леонидовича

на диссертацию Шишмарева Алексея Александровича

«Некоторые проблемы квантовой электродинамики сильного поля, заданного потенциалами ступенчатого типа», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.02 – Теоретическая физика

Общая характеристика диссертационной работы.

Диссертационная работа Шишмарева А.А. посвящена изучению ряда проблем квантовой электродинамики с сильными электрическими полями постоянного направления, способными породить пары частиц и античастиц из вакуума. В представленной работе рассматриваются статистические свойства многочастичных состояний, образованных парами частиц и античастиц, рожденных электрическим полем. Для этого найдены матрицы плотности, соответствующие определенным условиям измерения и получены выражения для возникающей энтропии. Вычислены в явном виде энтропия частиц, рожденных однородным полем, которое остается постоянным в течение конечного времени T (T -постоянное поле), и энтропия частиц, рожденных постоянным полем, которое остается однородным на конечном отрезке длиной L (L -постоянное поле). Показана унитарная эквивалентность начального и конечного пространств Фока в рамках квантовой электродинамики с постоянными неоднородными полями неизменного направления. Изучено также поведение частиц и вакуума в постоянном неоднородном поле, которое исчезает на границах по экспоненциальному закону (пиковое поле).

Диссертационная работа состоит из введения, двух глав, заключения, списка литературы из 86 наименований и приложения. По объёму и структуре работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Актуальность исследования. Изучение эффектов рождения частиц из вакуума сильными электрическими полями необходимо для понимания ряда явлений, встречающихся в астрофизике, а также в активно развивающейся физике наноматериалов, в частности, в физике графена. В диссертации предложен подход, позволяющий учитывать статистические свойства возникающей из вакуума среды и развит ряд точно решаемых моделей, что служит дальнейшему развитию методов КЭД в сильном поле.

Во **введении** обоснована актуальность работы, указана цель проводимых автором исследований, кратко изложено содержание работы по главам.

В **первой главе** диссертационной работы рассматриваются сильные электрические поля, которые в некоторый момент времени включаются, а затем выключаются; приводится краткий обзор известного формализма квантовой электродинамики с такими электрическими полями. Приводится явный вид матриц плотности, полученных редукцией по подсистеме электронов или позитронов, для разных начальных состояний системы, в том числе вакуума. Отыскивается явный вид матрицы плотности системы, возникшей в результате измерения среднего числа частиц. Для редуцированных матриц плотности энтропия фон Неймана выражается через среднее число частиц в финальном состоянии. Общие выражения для энтропии иллюстрируются на конкретном примере T -постоянного поля.

Во **второй главе** изучаются проблемы квантовой электродинамики в неоднородном электрическом поле, заданном ступенчатым потенциалом. В параграфе 2.1 дан краткий обзор используемого

формализма. В параграфе 2.2 с помощью точных решений уравнения Дирака и Клейна-Гордона изучено поведение частиц и вакуума в постоянном неоднородном пиковом поле. Найдено среднее дифференциальное число частиц, рождаемых электрическим полем из вакуума, и получены вероятности прохождения и отражения. Это среднее число частиц исследовано для ряда предельных случаев: когда рассматриваемое поле является слабо неоднородным, случай острого пика и существенно асимметричный случай.

В параграфе 2.3 этой главы установлен в общем виде критерий унитарной эквивалентности начального и конечного пространств Фока в рамках рассматриваемой модели квантовой электродинамики. В параграфе 2.3 найдены в общем виде матрицы плотности частиц, рожденных неоднородным электрическим полем, заданным ступенчатым потенциалом, соответствующие определенным условиям измерения, и получены выражения для возникающей энтропии. Изучена деформация вакуума под действием (L -постоянного поля).

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

В приложении приводятся асимптотики вырожденных гипергеометрических функций.

Результаты и выводы диссертационной работы основаны на надежных методах квантовой электродинамики, квалифицированном использовании методов математической физики и не противоречат известным результатам других авторов, что позволяет считать их **достоверными.**

Основные результаты диссертации докладывались на конференциях и опубликованы в виде 3 статей в рецензируемых международных журналах Physical Review, имеющих высокий импакт фактор.

Сильной стороной данной диссертационной работы является то, что рассмотрены не только эффекты рождения пар в конкретных полях, но предложен и общий подход к рассмотрению статистических свойств возникающих многочастичных состояний, впервые получены выражения для производства энтропии при различных способах измерения. Я считаю, что этот подход будет востребован при анализе диссипативных явлений в задачах с нестабильным вакуумом. Конкретные рассмотренные модели сами по себе тоже представляют интерес. Они описывают сильно идеализированные случаи, в которых внешние поля обладают достаточно высокой степенью симметрии. Однако, благодаря такой идеализации, удастся довести решение этих задач до конца в аналитическом виде. Таких примеров в данной области квантовой теории поля немного. Аналитическая форма дает возможность качественного анализа в широком диапазоне параметров электрического поля, что обязательно будет использоваться в дальнейших исследованиях.

В адрес диссертации можно высказать следующие замечания:

1. Переход с помощью подстановки (2.2.11) от исходного дифференциального уравнения (2.2.9) первого порядка (уравнения Дирака) для спинора ψ к дифференциальному уравнению (2.2.12) второго порядка для спинора ϕ приводит к появлению лишних решений: некоторые решения (2.2.12) могут приводить к тривиальному решению уравнения (2.2.9). Однако вопрос об отборе таких решений в диссертации не обсуждается.

2. В диссертации рассматривается переход от кусочно-гладкой потенциальной ступени к прямоугольной рассматривается как предел $k_1 \rightarrow \infty$, $k_2 \rightarrow \infty$. Но в этом пределе высота ступени $U_R - U_L$ стремится к нулю, если параметр E фиксирован. Чтобы высота ступени оставалась в этом пределе больше критической, параметр E должен соответствующим образом зависеть от k_1 и k_2 . Например, конечное

выражение (2.2.62) для дифференциального числа пар N_n^{cr} , правильность которого не вызывает сомнений, можно было бы записать в виде, более удобном для численных оценок. Было бы полезно сделать такую оценку для центра зоны Клейна.

3. Хочу также обратить внимание на предложение, с которого начинается диссертация и автореферат: «Традиционно считалось, что квантовая теория предназначается для описания феноменов микромира, тогда как макроскопические явления должны описываться классической теорией». Но квантовая теория развивалась как универсальная теория, которая должна была описывать не только явления микромира, но и макроскопические явления. Другое дело, что разработанная квантовая теория этому требованию не удовлетворяет и поэтому возникла проблема корректного перехода от квантовой теории к классической, которая до сих пор не получила общепринятого решения.

4. В некоторых формулах используются различные обозначения для одних и тех же величин. К примеру, величины p^L и p^R , которые вводятся на стр. 56 (см. (2.1.5)), далее в тексте используются не только с верхними, но и с нижними индексами (например, разделы 2.2.4 и 2.2.5).

Перечисленные замечания, однако, не умаляют научной ценности диссертационной работы. В целом, диссертация представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Все основные результаты, представленные в диссертации, являются новыми и представляют интерес для специалистов в данной области. Результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих международных журналах. Опубликованные работы и автореферат диссертации правильно и полно отражают ее содержание.

Считаю, что диссертационная работа «Некоторые проблемы квантовой электродинамики сильного поля, заданного потенциалами ступенчатого типа» удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13 и 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней,

предъявляемым к диссертациям на соискание учёных степеней кандидата наук, а её автор, А.А. Шишмарев, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика.

Официальный оппонент:

профессор кафедры теоретической физики
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Томский государственный педагогический университет»
(634061, Томск, ул. Киевская, 60,
(3822) 311458; rector@tspu.edu.ru; www.tspu.edu.ru),
доктор физико-математических наук
(01.04.02 – Теоретическая физика),
доцент

Н.Л. Чуприков

634041, Томск,
Комсомольский проспект, 75
ТГПУ, (3822) 311-352
chnl@tspu.edu.ru

17 октября 2018 г.

Подпись удостоверяю
ученый секретарь
Ученого совета ТГПУ

Н.И.Медюха

