

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора Шабаева Владимира Моисеевича на диссертацию Шишмарева Алексея Александровича «Некоторые вопросы квантовой электродинамики сильного электрического поля, заданного потенциалами ступенчатого типа», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика

В диссертационной работе А. А. Шишмарева рассмотрен ряд эффектов, связанных с рождением электрон-позитронных пар из вакуума сильными электрическими полями постоянного направления. Рассматриваются две конфигурации: зависящее от времени однородное поле и постоянное неоднородное поле. В обоих случаях такие поля могут быть заданы потенциалом, который зависит либо только от времени, либо только от одной координаты. Используется подход квантовой электродинамики в сильном внешнем поле, который позволяет точно учитывать взаимодействие электрон-позитронного поля с внешним полем. Этот подход опирается на точные решения релятивистских волновых уравнений в полях рассматриваемых конфигураций. Он позволяет выполнять вычисления в аналитическом виде, если такие решения известны.

Статистические свойства состояний, возникающих из вакуума под действием электрического поля в той или иной конфигурации и определённой процедуры измерения, описываются с помощью матриц плотности. Рассмотрены две процедуры измерения: (1) когда доступны для наблюдения только электроны или только позитроны; (2) когда на промежуточной стадии измерено среднее число родившихся пар. Для обеих конфигураций поля и каждой из процедур измерения получены выражения энтропии фон Неймана через средние числа частиц. Найден явный вид энтропии как функции поля для однородного электрического поля конечного времени действия и для постоянного электрического поля внутри плоского конденсатора. Показано в общем виде, что эволюция состояний в электрическом поле, заданном ступенчатым потенциалом, является унитарной, если полное число родившихся пар конечно. Исследовано явление рождения электрон-позитронных пар постоянным электрическим полем, которое экспоненциально возрастает и затем убывает вдоль направления поля.

Тема диссертационной работы актуальна. Полученные результаты обоснованы, достоверны и представляют интерес в контексте развития методов непертурбативных квантовополевых вычислений эффектов сильного поля. Как общие результаты, так и рассмотренные примеры для неоднородных полей могут иметь приложения в физике наноструктур, таких как графен или топологические изоляторы. Это обусловлено тем, что для таких структур в области низких энергий поведение электронных возбуждений может быть описано уравнением Дирака для безмассовых фермионов, движущихся со скоростью Ферми.

Диссертационная работа состоит из введения, двух глав, заключения, списка литературы из 89 наименований и приложения. По объёму и структуре работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Во введении автор обосновывает актуальность работы, формулирует цель и задачи исследования, теоретическую и практическую значимость работы, а также приводит её краткое содержание по главам.

В начале **первой главы** кратко рассмотрен необходимый формализм КЭД в сильном электрическом поле, зависящем от времени, и приводятся выражения для общей матрицы плотности, описывающей полную квантовую систему электронов и позитронов, и редуцированных матриц плотности, описывающих только подсистемы электронов или позитронов. Изучается потеря когерентности в результате взаимодействия с полуклассическим объектом или в результате измерения классическим прибором. Рассматривается редукция общей матрицы плотности при измерении дифференциальных средних чисел частиц, электронов и позитронов. Найдено выражение энтропии фон Неймана. Найден явный вид зависимости энтропии от параметров поля для случая, когда однородное электрическое поле действует на конечном промежутке времени, внутри которого оно постоянно.

В начале **второй главы** сжато рассмотрен необходимый формализм КЭД в сильном постоянном неоднородном электрическом поле, заданном ступенчатым потенциалом. Далее с помощью этого подхода изучен процесс рождения электрон-позитронных пар постоянным электрическим полем, которое сначала экспоненциально возрастает, а затем убывает вдоль направления поля. Найден полный набор решений уравнения Дирака в этом поле. Получены и проанализированы выражения для вероятностей рассеяния и среднего числа рожденных пар. Изучены три предельных случая: (1) медленно меняющееся поле, которое представляет собой двухпараметрическую регуляризацию постоянного электрического поля;

- (2) острый пик, который является регуляризацией ступеньки Клейна;
- (3) выраженно асимметричная конфигурация.

В остальных параграфах **второй главы** установлено условие унитарной эквивалентности начального и конечного пространств Фока. Рассматривается деформация начального вакуумного состояния электрическим полем, сначала в общей теории и затем для электрического поля, заключенного между пластинами плоского конденсатора, разнесенными на конечное расстояние. Находится явный вид редуцированных матриц плотности для электронной и позитронной подсистем, и вычисляется соответствующая этим матрицам энтропия.

В заключении формулируются основные результаты диссертационной работы.

В приложении автор приводит асимптотики вырожденных гипергеометрических функций, необходимые для вычислений.

Теоретический уровень диссертации безусловно соответствует квалификации кандидата физико-математических наук. Однако, имеется ряд замечаний:

1) Не умаляя достоинств аналитически решаемых моделей, следует отметить, что в последние годы значительный прогресс был достигнут в численных расчетах процессов рождения пар в сильных электромагнитных полях, в том числе и полях, создаваемых лазерными импульсами. Автору следовало хотя бы кратко упомянуть эти расчеты в диссертации и дать соответствующие ссылки.

2) К очевидным недостаткам диссертации следует также отнести отсутствие в ней каких-либо рисунков. Рисунки с изображением рассматриваемых в работе потенциалов безусловно способствовали бы более легкому восприятию представленного в диссертации материала.

3) Являясь профессором кафедры квантовой механики СПбГУ, которая была создана В. А. Фоком, не могу не обратить внимание на то, что релятивистское уравнение для скалярной частицы более корректно называть уравнением Клейна-Фока-Гордона (см., например, монографию [10]).

4) Диссертация написана достаточно хорошо, хотя и не лишена полностью опечаток. См., например: седьмая строка на странице 7, восьмая строка на странице 13, первая строка в формуле для гамильтониана на стр. 23, левая часть уравнений (1.1.6), пятая строка на странице 53.

Отмеченные недостатки, разумеется, не влияют на общую очень положительную оценку диссертационной работы. В целом, диссертация А. А. Шишмарева выполнена на высоком научном уровне, является законченной научно-исследовательской работой и представляет значительный интерес для специалистов в данной области. Все основные результаты, представленные в диссертации, являются новыми. Результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих международных журналах. Опубликованные работы и автореферат правильно и полно отражают содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа «Некоторые вопросы квантовой электродинамики сильного электрического поля, заданного потенциалами ступенчатого типа» удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 действующего Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание учёных степеней кандидата наук, а её автор, А. А. Шишмарев, несомненно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Официальный оппонент

профессор кафедры квантовой механики

федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный университет»

(199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9;

(812) 328-20-00; spbu@spbu.ru; www.spbu.ru),

доктор физико-математических наук

(01.04.02 – Теоретическая физика),

профессор

В. М. Шабает

198504, Санкт-Петербург,

Петродворец, Ульяновская, д. 1,

НИИФ СПбГУ, (812) 428-45-52,

v.shabaev@spbu.ru

21 сентября 2018 г.

Личную подпись заверяю
начальник отдела кадров №3

Н. И. МАШТЕЛА



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей