

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.07, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 08 ноября 2018 года публичной защиты диссертации Шишмарева Алексея Александровича «Некоторые вопросы квантовой электродинамики сильного электрического поля, заданного потенциалами ступенчатого типа» по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Присутствовали 16 из 24 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика:

1. Багров В. Г., доктор физико-математических наук, профессор,
председатель диссертационного совета, 01.04.02
2. Ивонин И. В., доктор физико-математических наук, старший научный
сотрудник, заместитель председателя диссертационного совета, 01.04.10
3. Киреева И. В., доктор физико-математических наук, старший научный
сотрудник, ученый секретарь диссертационного совета, 01.04.07
4. Брудный В. Н., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.10
5. Бухбиндер И. Л., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.02
6. Войцеховский А. В., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.10
7. Коротаев А. Д., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.07
8. Ляхович С. Л., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.02
9. Мельникова Н. В., доктор физико-математических наук, 01.04.07
10. Потекаев А. И., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.07
11. Толбанов О. П., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.10
12. Трифонов А. Ю., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.02
13. Тюменцев А. Н., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.07
14. Чумляков Ю. И., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.07
15. Шаповалов А. В., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.02
16. Шарапов А. А., доктор физико-математических наук, профессор, 01.04.02

Заседание провел председатель диссертационного совета доктор физико-математических наук, профессор Багров Владислав Гаврилович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить А. А. Шишмареву ученую степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.07,
созданного на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____**

решение диссертационного совета от 08.11.2018 № 15

О присуждении **Шишмареву Алексею Александровичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Некоторые вопросы квантовой электродинамики сильного электрического поля, заданного потенциалами ступенчатого типа»** по специальности **01.04.02** – Теоретическая физика принята к защите 18.06.2018 (протокол заседания № 11) диссертационным советом **Д 212.267.07**, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Шишмарев Алексей Александрович**, 1987 года рождения.

В 2010 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет».

В 2013 году соискатель очно окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики систем и теории управления имени В. М. Матросова Сибирского отделения Российской академии наук.

Для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук с 01.11.2017 прикреплен к федеральному государственному автономному образовательному учреждению высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности научного сотрудника института физики в Университете Сан-Паулу (Бразилия), по совместительству – в должности научного сотрудника лаборатории квантовой теории интенсивных полей в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре квантовой теории поля и в лаборатории квантовой теории интенсивных полей федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Гаврилов Сергей Петрович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», кафедра общей и экспериментальной физики, профессор (на момент назначения научным руководителем по совместительству – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», лаборатория квантовой теории интенсивных полей, главный научный сотрудник).

Официальные оппоненты:

Шабает Владимир Моисеевич, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра квантовой механики, профессор

Чуприков Николай Леонидович, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный педагогический университет», кафедра теоретической физики, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова**», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном **Студеникиным Александром Ивановичем** (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра теоретической физики, профессор) указала, что создание новых наноматериалов, таких как графен, топологические изоляторы или полуметаллы Вейля обусловило необходимость изучения влияния эффекта рождения частиц на физические аспекты этих систем. Эффект рождения частиц сильными полями, электромагнитными или гравитационными, является одним из существенно квантовых явлений и способен, в определенных условиях, существенно влиять на классическую эволюцию системы из-за эффектов обратного влияния. Электрические поля, способные порождать электрон-позитронные пары, могут существовать в эргосфере черных дыр и вблизи ряда экзотических астрофизических объектов, таких как кварковые звезды и космические струны. Согласно последним исследованиям, достаточно сильные электрические поля, вероятно, будут достигнуты в недалеком будущем благодаря прогрессу в лазерной технике. А. А. Шишмаревым впервые предложен подход к вычислению энтропии и квантовой запутанности многочастичных состояний, возникающих под действием электрического поля из вакуума; впервые получено условие унитарной эквивалентности начального и конечного пространств Фока для эволюции электрон-позитронного поля в постоянном неоднородном электрическом поле неизменного направления, что служит дополнительным подтверждением самосогласованности использованной теории и верной интерпретации начальных и финальных состояний в ее рамках; впервые исследованы эффекты рождения пар в постоянном неоднородном пиковом поле. Результаты исследования вносят вклад в развитие непertурбативных методов, позволяющих рассматривать квантовые эффекты сильного поля, и могут быть использованы для исследования влияния конечности области электрического поля на рождение пар. Результаты, относящиеся к вычислению энтропии фон Неймана для различных редуцированных матриц плотности, будут полезны в теории квантовой информации и квантовых вычислений.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 3 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы (все статьи опубликованы в высокорейтинговых зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science: 1 статья в журнале «Physical Review A» (импакт-фактор 2,925, квартиль 1); 2 статьи в журнале «Physical Review D» (импакт-фактор 4,568, квартиль 1). Общий объем публикаций – 4,4 а.л., авторский вклад – 1,5 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Gavrilov S. P. Statistical properties of states in QED with unstable vacuum / S. P. Gavrilov, D. M. Gitman, **A. A. Shishmarev** // Physical Review A. – 2015. – Vol. 91, is. 5. – P. 052106. – 13 p. – DOI: 10.1103/PhysRevA.91.052106. – 1,5 / 0,5 а.л. (*Web of Science*).

2. Gavrilov S. P. Unitarity and vacuum deformation in QED with critical potential steps / S. P. Gavrilov, D. M. Gitman, **A. A. Shishmarev** // Physical Review D. – 2016. – Vol. 93, is. 10. – P. 105040. – 8 p. – DOI: 10.1103/PhysRevD.93.105040. – 0,9 / 0,3 а.л. (*Web of Science*).

3. Gavrilov S. P. Particle scattering and vacuum instability by exponential steps / S. P. Gavrilov, D. M. Gitman, **A. A. Shishmarev** // Physical Review D. – 2017. – Vol. 96, is. 9. – P. 096020. – 17 p. – DOI: 10.1103/PhysRevD.96.096020. – 2,0 / 0,7 а.л. (*Web of Science*).

На автореферат поступило 6 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **А. А. Гриб**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической физики и астрономии Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена, г. Санкт-Петербург, с замечанием об отсутствии ссылок на книгу Гриб А. А., Мамаев С. Г., Мостепаненко В. М. «Квантовые эффекты в интенсивных

внешних полях» (М., 1980) и другие книги тех же авторов, в которых также рассматриваются эффекты рождения частиц для различных потенциалов электрического поля. 2. **Ю. М. Письмак**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц Санкт-Петербургского государственного университета, *с замечанием*: деформация вакуумного состояния постоянным неоднородным электрическим полем исследована только для случая статистики Ферми, тогда как другие упомянутые результаты были получены как для фермионов, так и для бозонов. 3. **С. А. Смолянский**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры теоретической физики Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, *с замечанием*: полученные результаты, а именно деформацию вакуумного начального состояния электрическим полем, было бы интересно обобщить на случай произвольных начальных условий системы. 4. **А. М. Федотов**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической ядерной физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, *с замечаниями*: в диссертации и в автореферате отсутствуют рисунки; некорректной представляется неоднократно упоминаемая в диссертации формулировка о том, что работы А. И. Никишова были «эвристическими» и выполнены в рамках «релятивистской квантовой механики»; нуждается в дополнительных разъяснениях и уточнениях условие унитарной эквивалентности начального и конечного пространств Фока для квантовой электродинамики с постоянными полями в п. 2.3 диссертации. 5. **А. Л. Шелепин**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры высшей математики МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва, *с замечаниями*: в автореферате не показано, как матрица плотности редуцируется в случае измерения величин, отличных от числа частиц, электронов или позитронов; интерес могло бы представить изучение деформаций матриц плотности с начальными состояниями, отличными от вакуумного. 6. **П. О. Казинский**, д-р физ.-мат. наук, доц., профессор кафедры квантовой теории поля Национального исследовательского Томского государственного университета, *с замечаниями*: для случая рассматриваемого равновесного начального состояния не указан критерий того, какими именно температурами ограничивается область применимости используемой теории; в автореферате отсутствует четкое определение

используемого автором термина «специальная КЭД»; кроме упомянутой в разделе «Степень разработанности» автореферата работы Фрадкина, Гитмана, 1981 г., существуют и другие работы, обобщающие картину Фарри на случай рождающихся пары из вакуума полей; в автореферате не обсуждается мотивация выбора in- и out-состояний во внешнем стационарном электрическом поле, хотя число рожденных частиц, найденное в диссертации, зависит от этого выбора; при обсуждении актуальности темы исследования особый упор делается на приложение разработанных методов в физике графена, однако такие приложения в диссертации не рассматриваются.

В отзывах отмечается, что квантовая электродинамика, являясь одним из наиболее развитых и экспериментально проверенных разделов физики, и по сей день остается актуальной и активно развивающейся областью знаний благодаря множеству физических приложений, востребованных в космологии и астрофизике, физике нейтрино и ядерной физике, а также физике наноматериалов. А. А. Шишмаревым найден явный вид матрицы плотности, редуцированной в результате измерения числа рожденных из вакуума пар электронов или позитронов; найдена энтропия фон Неймана электронной и позитронной подсистем полной квантовой системы для двух начальных состояний, вакуумного и равновесного, при определенной температуре; вычислены дифференциальные и интегральные характеристики нестабильности вакуума в постоянном неоднородном пиковом электрическом поле; для квантовой электродинамики с постоянными неоднородными электрическими полями установлено условие унитарной эквивалентности начального и конечного пространства Фока; в рамках квантовой электродинамики исследована деформация начального вакуумного состояния постоянным неоднородным электрическим полем; предложена новая модель пикового поля, которая, по сравнению с другими известными в литературе моделями, позволяет изучать особенности рождения пар, вызванных асимметрией пика. Полученные в диссертации формулы существенно обобщают и развивают результаты, опубликованные ранее в работах соискателя и других авторов. Результаты исследования могут быть полезны специалистам в области квантовой теории поля и теории квантовой информации.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **В. М. Шабает** является известным специалистом в области квантовой теории поля и квантовой электродинамики; **Н. Л. Чуприков** является высококвалифицированным специалистом в области математической физики и ее применений к задачам теории поля; в **Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова** работают квалифицированные специалисты, известные достижениями в области теоретической физики и, в частности, в области квантовой теории поля.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый способ вычисления энтропии фон Неймана с использованием явных выражений матриц плотности системы в присутствии сильных электрических полей;

доказано, что начальные и финальные пространства Фока в рамках квантовой электродинамики с точным учетом внешнего неоднородного постоянного электрического поля унитарно эквивалентны в том случае, если полное число пар, порождаемых таким полем из вакуума, конечно.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны утверждения, описывающие процедуру редукции общей матрицы плотности системы с вакуумным начальным условием при проведении в системе измерения количества финальных пар, электронов или позитронов;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы квантовой теории поля, позволяющие точно учитывать влияние сильного электрического поля на квантовую систему в тех случаях, когда уравнение Дирака с соответствующими электромагнитными потенциалами допускает аналитическое решение;

изложены мотивировки проведенных теоретических исследований, их результаты и возможные области применения;

изучены точно решаемая модель неоднородного электрического поля с экспоненциальным поведением, способного породить из вакуума электрон-

позитронные пары; деформация начального вакуумного состояния под действием произвольного сильного неоднородного постоянного электрического поля, способного нарушать стабильность вакуума.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

определены точные и приближенные значения дифференциальных и интегральных характеристик нестабильности вакуума для неоднородного постоянного электрического поля с экспоненциальным поведением;

представлены новые примеры применения квантовой электродинамики с точным учетом однородных зависящих от времени и внешних постоянных неоднородных электрических полей, заключенных в ограниченной области пространства, а именно: вычисления энтропии фон Неймана, соответствующей редуцированным матрицам плотности электронной и позитронной подсистем, а также матрицы плотности, редуцированной в процессе измерения числа финальных частиц, электронов или позитронов, для однородного поля, действующего только на конечном промежутке времени и постоянного внутри него, и для постоянного электрического поля, заключенного между пластинами плоского конденсатора.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Полученные результаты и разработанные методы могут найти применение в учреждениях, в которых ведутся исследования по квантовой теории поля и квантовой электродинамике: в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова, Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» (Москва), Физическом институте им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (Москва), Санкт-Петербургском государственном университете, Российском государственном педагогическом университете им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург), Саратовском национальном исследовательском государственном университете имени Н. Г. Чернышевского, Томском государственном педагогическом университете, Национальном исследовательском Томском государственном университете и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных, проверяемых фактах, в т.ч. согласуется в предельных случаях с уже известными и проверенными ранее результатами;

идея базируется на использовании общепринятых математических подходов, применяющихся в квантовой электродинамике для точного учета влияния интенсивных электрических полей;

использованы сопоставление результатов работы с полученными ранее теоретическими результатами других авторов по рассматриваемой тематике, непосредственная проверка правильности полученных в примерах решений;

установлены качественное согласие авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках, правильность полученных в примерах решений.

Научная новизна результатов исследования заключается в том, что автором впервые построен явный вид редуцированной измерением числа частиц матрицы плотности с вакуумным начальным условием для квантованных дираковских или клейн-гордоновских полей в присутствии зависящего от времени электрического поля; найдена энтропия фон Неймана для редуцированных матриц плотности, описывающих подсистемы электронов и позитронов для различных начальных состояний системы, и энтропия фон Неймана, вычисленная для редуцированной измерением числа частиц матрицы плотности в случае вакуумного начального состояния; вычислены дифференциальные и интегральные распределения частиц, рождающихся из вакуума под действием постоянного пикового электрического поля трех различных конфигураций: слабо неоднородного поля, острого пика, асимметричного пика; найдено условие унитарной эквивалентности начального и финального фоковских пространств для квантовой электродинамики в присутствии постоянных неоднородных электрических полей, заданных потенциалами ступенчатого типа; построен явный вид матрицы плотности, описывающей квантовое состояние, возникшее из начального вакуумного состояния под действием постоянного неоднородного электрического поля, а также редуцированные матрицы плотности для электронной и позитронной подсистем, и найдена энтропия фон Неймана таких матриц плотности.

Личный вклад соискателя состоит в: непосредственном участии в постановке цели и задач исследования, анализе и обсуждении результатов, формулировке выводов, подготовке научных публикаций по теме диссертации. Основные результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично. В работах, выполненных в соавторстве, соискатель принимал активное участие на всех этапах выполнения.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, связанной с изучением эффекта рождения частиц в рамках квантовой электродинамики с нестабильным вакуумом, имеющей значение для развития квантовой теории поля интенсивных электрических полей.

На заседании 08.11.2018 диссертационный совет принял решение присудить **Шишмареву А. А.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета



Багров Владислав Гаврилович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Киреева Ирина Васильевна

08.11.2018