

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.163.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **12.10.2023г.** № **6/6**

О присуждении **Фархтдинову Булату Ринатовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Процессы многочастичного рождения в квантовой теории поля» по специальности 1.3.3 — Теоретическая физика, принята к защите 22 июня 2023 года, протокол № 2/2 диссертационным советом 24.1.163.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 823/нк от 20 апреля 2023 года.

Соискатель — Фархтдинов Булат Ринатович, 1994 года рождения. В 2022 году соискатель освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению 03.06.01 Физика и астрономия», по специальности 1.3.3 — Теоретическая физика (диплом 107724 6411561, выданный 16 июля 2022 г.). В настоящее время работает в должности стажера-исследователя отдела теоретической физики ИЯИ РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, в отделе теоретической физики.

Научный руководитель — кандидат физико-математических наук, Демидов Сергей Владимирович, Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, старший научный сотрудник отдела теоретической физики.

Официальные оппоненты:

Барвинский Андрей Олегович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), лаборатория теории фундаментальных взаимодействий, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник,

Шнир Яков Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, ведущий научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" (НИЦ "Курчатовский институт") — в своем положительном заключении, подписанном Валентином Ивановичем Захаровым, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником НИЦ «Курчатовский институт»; Виктором Юрьевичем Егорычевым, исполняющим обязанности руководителя Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики (ККТЭФ), председателем НТС ККТЭФ; Валерием Васильевичем Васильевым, ученым секретарем ККТЭФ, ученым секретарем НТС ККТЭФ; Кириллом Евгеньевичем Борисовым, главным ученым секретарем НИЦ «Курчатовский институт» и утвержденном первым заместителем директора Центра по науке Юлией Алексеевной Дьяковой,

указала, что диссертация Б.Р. Фархтдинова на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - теоретическая физика.

Соискатель имеет 6 работ по теме диссертации, 3 из которых опубликованы в международных рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны при решающем участии соискателя.

Список основных работ, по результатам диссертационного исследования:

1. Demidov S.V., **Farkhtdinov B.R.** Numerical study of multiparticle scattering in $\lambda\varphi^4$ theory // JHEP. — 2018. — Т.11.—С.068.

2. Demidov S.V., **Farkhtdinov B.R.**, Levkov D.G. Numerical Study of Multiparticle Production in φ^4 Theory: Comparison with Analytical Results // JETP Letters. — 2021. — Т.114, №11. — С.649 — 652.

3. Demidov S.V., **Farkhtdinov B.R.**, Levkov D.G. Suppression exponent for multiparticle production in $\lambda\varphi^4$ theory // JHEP. — 2023. — Т.02. — С.205.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что в диссертации были получены значимые физические результаты, которые имеют важное научное и практическое значение для квантовой теории поля. Автореферат полно и точно отражает содержание диссертации. Текст диссертации написан ясно, он адекватно освещает цели, методы и результаты проделанной работы, а сами результаты являются новыми. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Отмечены следующие критические замечания и пожелания:

- Отмечены недостатки в части терминологии современных численных методов (в частности, таких терминов как "отжиг").
- В диссертации не дано объяснения специального выбора оператора (2.3), моделирующего начальное состояние с ненулевыми числами заполнения с помощью экспоненциального функционала от источника и полевого оператора. Казалось бы, при малом начальном числе частиц это должен быть оператор полиномиальный, а не экспоненциальный, по оператору рождения.
- Не ясно, происходит ли в методе Шона сингулярный характер решений от того, что начальное состояние моделируется в виде дельта-образного по времени импульса внешнего источника.
- Представляется, что результаты диссертации опровергают идею хиггсовского "взрыва". Не ясно, можно ли сказать, что это так, или же остаются другие возможности для его реализации.
- В Главе 1 при определении границы классически разрешенной области рассматривается задача поиска решений, максимизирующих разность числа начальных и конечных чисел заполнения. Результаты, представленные на Рис.1.1 для случая начального одночастичного состояния, указывают на возможность квазифрактальной структуры зависимости числа состояний от энергии. Было бы желательно обсудить эту возможность.
- Численный анализ ограничивается простым случаем скалярной теории с потенциалом взаимодействия $\lambda\phi^4$ без спонтанно нарушенной симметрии вакуума. Представляется, значительно больший интерес представляло бы исследование процессов множественного рождения в теории с потенциалом Хиггса, в частности анализ процессов, связанных с промежуточным рождением и аннигиляцией доменных стенок.
- Автор упоминает, что возможное отсутствие экспоненциального подавления в процессах множественного рождения скалярных частиц связано со столкновениями глюонов. Желательно было бы более подробно обсудить возможные отличия подобных процессов от случая скалярной модели $\lambda\phi^4$.
- В обзоре литературы следовало бы отразить результаты, касающиеся множественного рождения, связанного с подбарьерным переходом и рождением

частиц с тепловым спектром. См., например, "Thermal Emission from Semi-classical Dynamical Systems", Takeshi Morita, Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 10, 101603, ePrint: 1902.06940 [hep-th].

- Введенные в первой главе обозначения энергии и числа частиц с тильдой усложняют восприятие результатов из-за скрытого в них деления на 4π .
- На некоторых рисунках сравнения, как, например, на Рис. 1.5 и 1.6 сложно отличить один график от другого при черно-белой печати.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации и наличием работ высокого уровня по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Показано, что процессы многочастичного рождения в теории $\lambda\varphi^4$ без спонтанного нарушения Z_2 симметрии лежат глубоко в классически запрещенной области, что указывает на экспоненциальное подавление их вероятностей, которое было подтверждено дальнейшими исследованиями.
- Разработан и верифицирован численный алгоритм, позволяющий применить метод сингулярных решений Д.Т. Шона при большом количестве частиц, $n \geq \lambda - 1$, в конечном состоянии и произвольных средних кинетических энергиях рожденных частиц и получить таким образом ранее неизвестные вероятности многочастичного рождения при этих значениях параметров в теории $\lambda\varphi^4$ с ненарушенной Z_2 симметрией.
- По результатам численных расчетов показано, что процессы многочастичного рождения в теории $\lambda\varphi^4$ и ненарушенной Z_2 симметрией остаются экспоненциально подавленными при произвольно больших множественностях n и фиксированной средней кинетической энергии на частицу в конечном состоянии. Численно получена асимптотика экспоненты подавления при $\lambda n \rightarrow +\infty$, а также изучен её ультрарелятивистский предел.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Результаты исследования классического рассеяния волновых пакетов в теории $\lambda\phi^4$ с ненарушенной Z_2 симметрией продемонстрировали, что процессы многочастичного рождения лежат глубоко в классически запрещенной области, а явное вычисление вероятностей этих процессов при помощи метода сингулярных решений Д.Т. Шона подтвердило их экспоненциальное подавление.
- Удалось найти поведение вероятности многочастичного рождения в пределе $\lambda n \rightarrow +\infty$ и в случае ультрарелятивистских частиц в конечном состоянии. Эти результаты могут быть использованы при дальнейшем аналитическом изучении многочастичного рождения.

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

- Предложенная в работе численная процедура нахождения классически разрешенной области рассеяния волновых пакетов может быть использована для анализа многочастичного рассеяния в других моделях.
- Численная реализация квазиклассического метода сингулярных решений Д.Т. Шона служит мощным инструментом для исследования многочастичных процессов. Она позволяет получать вероятности этих процессов для значений $\lambda n \gtrsim 1$ недоступных аналитическому описанию. Разработанная численная реализация метода Д.Т. Шона может быть применена для изучения многочастичного рождения в других бозонных теориях и, в частности, в интересном случае теории $\lambda\phi^4$ с нарушенной Z_2 симметрией, моделирующей самодействие поля бозона Хиггса Стандартной Модели.

Оценка достоверности результатов выявила:

- Для получения результатов использовались проверенные и известные в литературе численные методы и методы квантовой теории поля.
- Полученные численные результаты согласуются с известными данными из литературы и между собой.

- Результаты докладывались на российских и международных конференциях и научных семинарах и были опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Личный вклад соискателя состоит в численной реализации методов изучения процессов многочастичного рождения, в написании программного кода обоих численных методов: для исследования классического рассеяния и для метода сингулярных решений Д.Т. Шона. Соискатель лично получал все численные результаты для границ классических разрешенных областей и вероятностей многочастичного рождения. Также соискатель принимал активное участие в анализе и интерпретации полученных численных данных.

На заседании 12 октября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Фархтдинову Булату Ринатовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.3 — Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 23, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета 24.1.163.01
доктор техн. наук, чл.-корр. РАН _____ Кравчук Л.В.

И.о. ученого секретаря
диссертационного совета 24.1.163.01
доктор физ.-мат. наук, проф. РАН _____ Рубцов Г.И.

12.10.2023

М.П.