

## Отзыв научного руководителя

на диссертацию Фархтдинова Булата Ринатовича

“Процессы многочастичного рождения в квантовой теории поля”,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.3 – теоретическая физика.

Основным методом для расчетов в физике частиц является теория возмущений – нахождение наблюдаемых величин в виде разложения в ряд по константе связи. Несмотря на свой успех, известны ситуации, в которых теория возмущений оказывается неприменимой даже в том случае, когда константа связи мала. Одним из известных примеров такого типа является многочастичное рождение в бозонных теориях поля. Так, вычисления на древесном и однопетлевом уровнях показывают, что вероятности процессов  $1 \rightarrow n$  в скалярной теории поля с потенциалом  $\lambda\phi^4$  вблизи порога факториально растут с  $n$ , делая теорию возмущений неприменимой при больших  $n \sim \lambda^{-1}$ . Для нахождения вероятностей процессов многочастичного рождения в ряде работ были предложены квазиклассические методы, однако до последнего времени сложность их применения ограничивала получение результатов режимом квазиклассически малого числа частиц  $n \ll \lambda^{-1}$ . Недавно интерес к теме многочастичного рождения сильно вырос в связи с работами В. Хозе (2017, 2018), в которых утверждается, что в скалярной теории с потенциалом  $\lambda\phi^4$  с нарушенной  $\mathbb{Z}_2$  симметрией вероятности процессов многочастичного рождения становятся неподавленными уже вблизи порога при больших  $\lambda n$ . Эти результаты основаны на применении тех же квазиклассических методов при определенных предположениях о структуре квазиклассических решений, и они привели к идее о “Хиггсовском взрыве” – неподавленном множественном рождении бозонов Хиггса. Несмотря на то, что эта идея вызвала критику со стороны ряда авторов, вопрос о величине вероятности множественного рождения в скалярных теориях в режиме  $n \gtrsim \lambda^{-1}$  так и остался открытым. Решению этой проблемы и посвящена диссертация Фархтдинова Булата Ринатовича. В своей работе он изучал процессы многочастичного рождения в скалярной теории поля с потенциалом  $\lambda\phi^4$  с ненарушенной  $\mathbb{Z}_2$  симметрией, причем основной акцент был

сделан на получении результатов в режиме, когда конечное число частиц является большим, т.е.  $n \gg \lambda^{-1}$ .

В первой главе диссертации был изучен классический аналог рассматриваемых процессов, а именно классическое рассеяние волновых пакетов в теории  $\lambda\phi^4$ . Такое рассеяние описывается решениями классических уравнений поля, которые линеаризуются при начальных и конечных временах. Соответствующие начальные и конечные волновые пакеты могут быть параметризованы энергией  $E$ , а также начальным  $n_i$  и конечным  $n_f$  числами частиц. В режиме, когда эти числа частиц являются квазиклассически большими, волновые пакеты соответствуют в квантовой теории когерентным состояниям с соответствующими средними значениями энергии и числа частиц. Б.Р. Фархтдинов провел сканирование по множеству таких классических решений и нашел классически разрешенную область в пространстве параметров  $E, n_i, n_f$ , в которой вероятности соответствующих квантовых процессов рассеяния не являются экспоненциально подавленными. Им были изучены свойства классических решений, соответствующих найденной границе. Полученные результаты показывают, что процессы многочастичного рождения  $2 \rightarrow n$  для квазиклассически больших  $n \gtrsim \lambda^{-1}$  находятся глубоко в классически запрещенной области. Это указывает на экспоненциальное подавление их вероятностей в квантовой теории.

Вторая и третья главы диссертации посвящены непосредственному вычислению вероятностей процессов многочастичного рождения. Во второй главе описана численная процедура, разработанная Б.Р. Фархтдиновым, которая позволяет найти главную экспоненту вероятности многочастичного рождения с помощью квазиклассического метода Д.Т. Шона (1995). Метод заключается в нахождении комплекснозначных решений классических уравнений поля с определенными граничными условиями, которые определяются энергией процесса  $E$  и множественностью конечного состояния  $n$ . Основная сложность заключается в том, что искомые классические решения являются сингулярными. Б.Р. Фархтдинов успешно справился с этой трудностью, разработав не только численный метод, но и соответствующую регуляризацию сингулярных решений и метод ее снятия для нахождения экспоненты подавления вероятности.

В третьей главе диссертации описываются результаты для вероятности многочастичного

стичного рождения в теории  $\lambda\phi^4$  с ненарушенной  $\mathbb{Z}_2$  симметрией, полученные с помощью разработанного численного алгоритма. Во-первых, было продемонстрировано, что успешно воспроизводятся известные результаты при  $n \ll \lambda^{-1}$ . Во-вторых, был изучен предельный случай  $n \gg \lambda^{-1}$  и было показано, что в этом режиме экспонента подавления вероятности многочастичного рождения становится линейной функцией от  $n$ , а вероятность остается экспоненциально подавленной при всех  $n$  и  $E$ . Найдены удобные интерполирующие формулы для экспоненты подавления вероятности, справедливые при всех  $n$ . Кроме того, Б.Р. Фархтдиновым была изучена структура сингулярностей квазиклассических решений и показано, что некоторые из предположений, на которых базируются вычисления В. Хозе и результат о неподавленности множественного рождения, являются несправедливыми в рассмотренной теории.

Результаты диссертации представляют безусловную научную ценность как в плане разработанных методов вычисления вероятностей многочастичного рождения, применимых к широкому классу моделей, так и в плане полученных результатов для скалярной теории с потенциалом  $\lambda\phi^4$  с ненарушенной симметрией. Стоит отметить, что за время нашей совместной работы Б.Р. Фархтдинов проявил себя как самостоятельный исследователь в области квантовой теории поля, способный ставить и решать сложные задачи.

Считаю, что диссертационная работа Фархтдинова Булата Ринатовича “Процессы многочастичного рождения в квантовой теории поля” соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 - теоретическая физика.

2 июня 2023 года

Старший научный сотрудник

Отдела теоретической физики ИЯИ РАН, к.ф.-м.н.

С. В. Демидов

Подпись С. В. Демидова удостоверяю:

Заместитель директора ИЯИ РАН по научной работе,

д.ф.-м.н., профессор РАН

Г. И. Рубцов