

## ОТЗЫВ

Шнира Якова Михайловича, официального оппонента диссертации Фархтдинова Булата Ринатовича "Процессы многочастичного рождения в квантовой теории поля", представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – "Теоретическая физика".

### 1. Актуальность тематики диссертации:

После изучения текста диссертации, автореферата и опубликованных работ диссертанта можно утверждать, что несомненна актуальность выбранной диссертантом темы, а научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются достоверными и новыми, что подтверждается в частности, теоретическими моделями других авторов, а также публикациями в ведущих научных журналах.

В последние десятилетия проявляется значительный интерес к исследованию процессов многочастичного рождения частиц в столкновении двух или более начальных квантов. Работы в этом направлении привели к выводу об экспоненциальном характере подавления процессов множественного рождения и универсальности экспоненты подавления, то есть ее независимости от начального состояния. С другой стороны, имеются указания на отсутствие экспоненциального подавления вероятности множественного рождения бозонов Хигса в столкновениях глюонов. Заметим, что теоретическое описание подобных процессов осложняется тем, что они носят непертурбативный характер, их описание в нелинейной теории требует выхода за рамки теории возмущений, даже в приближении слабой связи. В частности, вычисление амплитуды вероятности многочастичного рождения частиц возможно в рамках квазиклассического метода Д.Т.Шона, применимого при условии рождения большого числа частиц. Однако, даже в простейшем случае скалярной теории, применение подобных квазиклассических методов осложняется сингулярным характером построенных комплексных решений полевых уравнений. В этой связи важное значение приобретают численные методы решения задачи вычисления вероятностей многочастичного рождения в квантовой теории поля.

### 2. Научная новизна и достоверность выносимых на защиту результатов:

**Новизна** результатов диссертации следует из трех публикаций статей автора в престижных физических журналах, где как правило уровень рецензирования довольно высок. **Достоверность** полученных результатов подтверждается работами других авторов, проводящих исследования по данной тематике и непосредственным сопоставлением аналитических и численных результатов вычислений. В диссертации представлено завершено научное исследование, содержащее значительные

результаты в современной теоретической физике. **Обоснованность** полученных результатов обусловлена тем, что при выполнении программы исследований применялись современные методы вычислительной теоретической физики. Более того, диссертацию можно рассматривать как существенный шаг в развитии и совершенствовании численных методов решения задачи вычисления квантовых амплитуд вероятностей в теории поля. Необходимо отметить, что личный вклад Б.Р. Фархтдинова в исследованиях, отраженных в диссертации, был **определяющим**.

### **3. Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы:**

Рассматриваемая диссертация представляет собой цельное и последовательное исследование, направленное на создание схемы численной реализации метода сингулярных решений Д.Т.Шона. Исследования, проведенные диссертантом, имеют большое научное значение, а также практическую и методическую ценность в следующих аспектах:

1. Определение классически разрешенной области процессов многочастичного рождения в теории действительного скалярного поля с нелинейным потенциалом взаимодействия  $\lambda\phi^4$
2. Разработка и реализация численного метода вычисления амплитуд вероятностей многочастичного рождения в скалярной теории поля  $\lambda\phi^4$
3. Доказательство существенно квантового характера процессов многочастичного рождения и их экспоненциальное подавление.

Результаты представленные в диссертации могут быть использованы при проведении дальнейших экспериментальных и теоретических исследований в теории поля и физике высоких энергий, проводимых в ИЯИ РАН (Москва), МГУ (Москва), ОИЯИ (Дубна), ИФВЭ (Протвино) и других российских и зарубежных научных центрах.

### **4. Структура и содержание диссертации:**

Диссертационная работа Б.Р. Фархтдинова состоит из Введения, трех Глав, Заключение и одного приложения. Объем текста составляет 118 страниц, включает в себя 32 рисунка. В списке литературы 77 наименований.

Во **Введении** представлен детальный обзор предшествующих работ по теме исследования, обсуждается общий круг вопросов, связанных с задачей моделирования процессов многочастичного рождения, отражены новизна и практическая ценность исследования. Здесь также сформулированы цели и задачи исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведен перечень

публикаций и докладов на научных семинарах и международных конференциях, подтверждающий результаты апробации работы, а также описан личный вклад соискателя. В **первой Главе** рассматривается постановка задачи численного исследования процессов многочастичного рождения в теории действительного скалярного поля с нелинейным потенциалом взаимодействия. Во **второй Главе** представлено описание разработанного автором численного алгоритма вычисления вероятности процессов многочастичного рождения, основанного на квазиклассическом методе сингулярных решений Д.Т.Шона. Во **третьей Главе** описываются результаты вычисления экспоненты подавления многочастичных процессов в скалярной теории поля  $\lambda\phi^4$ . В **Заключении** суммируются основные результаты проведенных исследований и рекомендации по их практическому использованию. Текст диссертации соответствует положениям, выносимым на защиту.

Диссертация написана ясным языком, хорошо иллюстрирована и содержит корректно оформленные ссылки на литературу. Вместе с тем к ней можно предъявить некоторые замечания.

1. 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.
2. 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.
3. 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  $\lambda\phi^4$

Указанные замечания не умаляют ценность научной работы, выполненной на высоком уровне. 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. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и соответствует всем требованиям “Положения о присуждении ученых степеней”, утвержденного

постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, которые предъявляются к диссертациям на получение ученой степени кандидата наук. Автор диссертации, Фархтдинов Булат Ринатович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика.

Профессор, ведущий научный сотрудник  
лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова  
Международной межправительственной организации  
Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ),  
доктор физико-математических наук по специальности 1.3.3

Дата 07.08.2023 г.

Подпись \_\_\_\_\_ / Шнир Яков Михайлович

Подпись в.н.с. ЛТФ ОИЯИ Шнира Я.М. заверяю

Зам. Директора ЛТФ \_\_\_\_\_ / Теряев Олег Валерьянович

М.П.

Международная межправительственная организация  
Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ),  
141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио Кюри, д. 6.

e-mail: [shnir@theor.jinr.ru](mailto:shnir@theor.jinr.ru) тел.: +7 496 216-24-45

**Шнир Яков Михайлович** - доктор физико-математических наук по специальности 1.3.3 – Теоретическая физика.

Список основных публикаций с соавторами по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

- [1] Loiko V., Shnir Ya. "Q-ball stress stability criterion in U(1) gauged scalar theories" *Physical Review D*106, no. 4 (2022): 045021. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.106.045021>.
- [2] Livramento L. R., Shnir Ya. "False vacuum Skyrmions revisited" *Physical Review D*105, no. 12 (2022): 125019. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.125019>.
- [3] Kunz J., Loiko V., Shnir Ya. "U(1) gauged boson stars in the Einstein-Friedberg-Lee-Sirlin model" *Physical Review D*105, no. 8 (2022): 085013. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.085013>.
- [4] Akagi Y., Amari Y., Gudnason S. B., Nitta M., Shnir Ya. "Fractional Skyrmion molecules in a CP<sup>(N-1)</sup> model" *Journal of High Energy Physics*, no. 11 (2021): 194. DOI: [https://doi.org/10.1007/JHEP11\(2021\)194](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2021)194).
- [5] Shnir Ya. "Black holes with Skyrmion-anti-Skyrmion hairs" *Physical Letters B*, no. 810 (2020): 135847. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135847>.
- [6] Amari, Y., Akagi Y., Gudnason S. B., Nitta M., Shnir Ya. "CP<sup>2</sup> skyrmion crystals in an SU(3) magnet with a generalized Dzyaloshinskii-Moriya interaction" *Physical Review B*106, no. 10 (2022): L100406. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.106.L100406>.
- [7] Herdeiro C., Perapechka I., Radu E., Shnir Ya. "Spinning gauged boson and Dirac stars: A comparative study" *Physical Letters B*, no. 824 (2021): 136811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2021.136811>.
- [8] Dorey P., Gorina A., Perapechka I., Romanczukiewicz T., Shnir Ya. "Resonance structures in kink- antikink collisions in a deformed sine-Gordon model" *Journal of High Energy Physics*, no. 09 (2021): 145. DOI: [https://doi.org/10.1007/JHEP09\(2021\)145](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2021)145).
- [9] Herdeiro C. A. R., Kunz J., Perapechka I., Radu E., Shnir Ya. "Chains of Boson Stars" *Physical Review D*103, no. 6 (2021): 065009. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.103.065009>.