

## ОТЗЫВ

Шнира Якова Михайловича, официального оппонента диссертации  
Маслова Василия Евгеньевича "Солитоны и осциллоны в скалярных теориях 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 классических локализованных полевых конфигураций солитонного типа, возникающих в различных системах. Особый класс солитонных решений при этом существует в полностью интегрируемых теориях, существование в них иерархии интегралов движения позволяет полностью описать мультисолитонные конфигурации аналитически. Однако, помимо сравнительно малого числа интегрируемых теорий, топологические и нетопологические солитоны также возникают во многих неинтегрируемых моделях в различных размерностях пространства. Характерной особенностью таких конфигураций при этом является почти полное отсутствие аналитических методов их исследования. С другой стороны, достигнутый за последние двадцать лет прогресс в развитии численного анализа и компьютерных методов исследования нелинейных задач позволил получить в этой области множество интересных неожиданных результатов. Особенный интерес при этом вызывает построение различных мультисолитонных решений, исследование их динамики, анализ связей пертурбативного и непертурбативного секторов теории, а также отклонения от интегрируемого режима, связанные с деформацией полностью интегрируемых моделей. В частности, в простейшей скалярной теории  $\lambda\phi^4$  был обнаружен квазифрактальный характер столкновительной динамики солитонов и найдены исключительно долгоживущие квазипериодические конфигурации осцилонного типа. Интерес к подобным решениям во многом связан с их возможной ролью в инфляционных моделях ранней Вселенной и поисками легкой темной материи. Однако, до сегодняшнего дня не существует полного понимания непертурбативной динамики осцилонов и механизма их радиационного распада, в этой связи основное значение приобретают численные методы исследования и возможность описания динамики осцилонов различными эффективными моделями.

## **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 завершённое 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 описания хаотической динамики солитонов в неинтегрируемых скалярных теориях поля. Необходимо отметить, что личный вклад В.Е.Маслова в исследованиях, отраженных в диссертации, был **определяющим**.

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

Рассматриваемая диссертация представляет собой цельное и последовательное исследование, направленное на изучение динамических свойств солитонов и осциллонов в неинтегрируемых моделях скалярного поля. Исследования, проведённые диссертантом, имеют большое научное значение, а также практическую и методическую ценность в следующих аспектах:

1. Исследование фрактальных характеристик топологических мультисолитонных решений неинтегрируемой  $1+1$  мерной скалярной теории синус–Гордон со внешним потенциалом.
2. Разработка эффективной теории осциллонов большого размера в скалярной теории поля с нелинейным притягивающим потенциалом.
3. Построение приближенного описания динамики осциллонов в эффективной скалярной теории с «бегущей массой», зависящей от амплитуды поля.

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 В.Е.Маслова состоит из Введения, четырех Глав, Заключения и трех приложений. Объем текста составляет 112 страниц, включает в себя 29 рисунков. В списке литературы 106 наименований.

Во **Введении** представлен детальный обзор предшествующих работ по теме исследования, обсуждается общий круг вопросов, связанных с задачей построения и описания солитонов в неинтегрируемых скалярных теориях поля, 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** рассматриваются статические солитонные решения модифицированной модели синус–Гордон с внешним неоднородным потенциалом, устанавливается зависимость между числом стабильных солитонов и их размером, исследуется фрактальное распределение солитонов в конфигурационном пространстве, а также их связь с метрической и топологической энтропией. Во **второй Главе** представлено описание нелинейных осциллонов большого размера. Построено классическое эффективное действие для непертурбативных квазипериодических осциллирующих конфигураций скалярного поля. Показана глобальная  $U(1)$  инвариантность эффективного действия, предложено модельное описание осциллонов в эффективной теории в качестве как нетопологических солитонов. Выполнено сравнение предсказаний эффективной теории с результатами численных симуляций и с пертурбативным разложением по амплитуде поля. В **третьей Главе** рассматриваются осциллоны в формальном пределе нулевого числа пространственных измерений. Показано, что при в этом пределе осциллон переходит в точное периодическое решение уравнений поля. В **четвертой Главе** рассматриваются осциллоны в моделях с потенциалами, близкими к квадратичному. Предложен новый метод учёта нелинейности потенциала, связанный с определением эффективной массы возмущений, зависящей от амплитуды поля. На основе этого подхода формулируется эффективная теория осциллона, выполнено сравнение полученных результатов с численным моделированием полных уравнений поля. В **Заключении** суммируются основные результаты проведенных исследований и рекомендации по их практическому использованию. В трех приложениях представлено техническое описание численных и аналитических методов исследования, в частности обосновано применение критерия стабильности Вахитова-Колоколова для анализа осцилонных конфигураций. 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. Модель синус-Гордон, деформированная внешним периодическим потенциалом типа дельта-гребёнки (1.5), хорошо известна в литературе, впервые она была предложена в 1978 г. в работе Маклафлина и Скотта [53] и впоследствии использовалась многими авторами, см например [7,8]. Однако соответствующие ссылки, данные в диссертации ранее в общем списке при описании модели синус-Гордон и ее разнообразных применений, отсутствуют в данном конкретном случае, хотя они и были приведены в оригинальной работе (Статья [1] в списке публикаций автора).
2. В Главе 1 при построении солитонных цепочек не учитывается наличие (квази)-нулевых трансляционных мод мультисолитонной конфигурации, представляется что наложен прямой запрет на их возбуждения и переход к последовательной динамической эволюции системы. Данное предположение нуждается в дополнительном обосновании.
3. В первой Главе диссертации фрактальная размерность величин полей мультисолитонных конфигураций на плоскости начальных данных вычисляется методом box counting. Представляется, что интерес представляло бы сравнение результатов с аналогичным вычислением возможной фрактальной размерности плотности топологического заряда системы.
4. Сделанное на стр 43 утверждение о возможности появления стабильных осциллонов представляется неточным, оно не учитывает возможности скалярного излучения и связанной с этим наличия временной зависимости у частоты осцилляций. Использование стационарного анзаца (2.21) в определенном смысле подменяет понятия, вместо динамической эволюции осциллона анализируется Q-болл. В частности, это относится к обсуждению критерия стабильности Вахитова-Колоколова (2.40) в контексте эффективной теории.
5. В разделе 2.4.2 делается утверждение о том, что «..распад осциллонов должен быть связан с непертурбативными поправками к эффективной теории». Данное утверждение вызывает ряд вопросов, поскольку детальный численный анализ временной динамики осциллонов показывает, что последовательное уменьшение амплитуды осцилляций и соответствующее увеличение частоты, связаны с нелинейными, но пертурбативными, эффектами излучения через вторую гармонику. Этот эффект, в первую очередь, характерен для осциллонов с большой амплитудой. Не совсем понятно, как данные процессы могут быть инкорпорированы в эффективной теории, в частности при определении поправок высших порядков в разделе 2.6.
6. Формальный переход пределу нулевой размерности пространства очевидно автоматически устраняет возможность распространения скалярного излучения,

соответствующие плоскотоволновые решения просто перестают существовать. Очевидно что в этом случае любая конфигурация сфалеронного типа, в отсутствие возмущений остается стабильной.

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 классической 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, Маслов Василий Евгеньевич, 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 15 ноября 2023 г.

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

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

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

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 по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

- [1] Dorey P., Gorina A., Romanczukiewicz T., **Shnir Ya.** Collisions of weakly-bound kinks in the Christ-Lee model. // Journal of High Energy Physics. – 2023. – Vol. 09 – P. 045. DOI: [https://doi.org/10.1007/JHEP09\(2023\)045](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2023)045)
- [2] Loiko V., **Shnir Ya.** Q-ball stress stability criterion in U(1) gauged scalar theories. // Physical Review D. – 2022. – Vol. 106, no. 4 – P. 045021. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.106.045021>
- [3] Livramento L. R., **Shnir Ya.** False vacuum Skyrmions revisited. // Physical Review D. – 2022. – Vol. 105, no. 12 – P. 125019. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.125019>
- [4] Kunz J., Loiko V., **Shnir Ya.** U(1) gauged boson stars in the Einstein-Friedberg-Lee-Sirlin model. // Physical Review D. – 2022. – Vol. 105, no. 8 – P. 085013. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.085013>
- [5] Akagi Y., Amari Y., Gudnason S. B., Nitta M., **Shnir Ya.** Fractional Skyrmion molecules in a  $CP^{(N-1)}$  model. // Journal of High Energy Physics. – 2021. – Vol. 11. – P. 194. DOI: [https://doi.org/10.1007/JHEP11\(2021\)194](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2021)194)
- [6] **Shnir Ya.** Black holes with Skyrmion-anti-Skyrmion hairs. // Physical Letters B. – 2020. – Vol. 810 – P. 135847. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2020.135847>
- [7] Akagi Y., Amari Y., Gudnason S. B., Nitta M., **Shnir Ya.**  $CP^2$  skyrmion crystals in an SU(3) magnet with a generalized Dzyaloshinskii-Moriya interaction. // Physical Review B. – 2022. – Vol. 106, no. 10. – P. L100406. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.106.L100406>
- [8] Herdeiro C., Perapechka I., Radu E., **Shnir Ya.** Spinning gauged boson and Dirac stars: A comparative study. // Physical Letters B. – 2021. – Vol. 824. – P. 136811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2021.136811>
- [9] 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. – 2021. – Vol. 09. – P. 145. DOI: [https://doi.org/10.1007/JHEP09\(2021\)145](https://doi.org/10.1007/JHEP09(2021)145)