

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Физико-технического
института им. С.У.Умарова
Национальной академии наук
Таджикистана,
д.ф.-м.н. Зарифзода А.К.



«08» _____ 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физико-технического института им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана

Диссертационная работа к.ф.-м.н. Фархода Шокира на тему «Математическое моделирование динамических и топологических локализованных решений нелинейных эволюционных уравнений» на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» выполнена в секторе теоретической физики отдела наноматериалов и нанотехнологий Физико-технического института им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана (ФТИ НАНТ).

В период подготовки диссертации соискатель работал в должности старшего научного сотрудника (до 2016 г.), ведущего научного сотрудника (с 2016 г.) сектора теоретической физики отдела наноматериалов и нанотехнологий, докторанта ФТИ НАНТ (с 01.03.2016 г. по 02.03.2019 г.), директора ФТИ НАНТ (с 05.02.2019 г. по 03.11.2023 г.). С 07.11.2023 г. по настоящее время соискатель Ф.Шокир работает и.о. заведующего отделом наноматериалов и нанотехнологий ФТИ НАНТ.

В 1997 году окончил Худжандский государственный университет им. академика Б.Гафурова, по специальности «Прикладная математика».

Ф.Шокир в 2011 году защитил диссертацию на тему «Динамические и топологические солитоны $O(3)$ векторной нелинейной сигма-модели» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, на заседании диссертационного совета при Институте математики им. А.Джураева Академии наук Республики Таджикистан (ныне Институт математики им. А.Джураева Национальной

академии наук Таджикистана), под научным руководством д.ф.-м.н. Муминова Х.Х. (1966-2021), академика (2017), вице-президента НАНТ (2017-2021), заведующего сектором теоретической физики и отделом наноматериалов и нанотехнологий (2006-2021) ФТИ НАНТ.

Диссертация к.ф.-м.н. Ф.Шокира «Математическое моделирование динамических и топологических локализованных решений нелинейных эволюционных уравнений» является завершённой научно-исследовательской работой, на основе результатов которой получены ряд научных достижений, имеющих важное значение как в теории, так и потенциалом для приложения в практических внедрениях. В том числе разработан аналитический подход исследования нелинейных эволюционных уравнений, обладающих решениями, описывающими динамические локализованные структуры с собственной динамикой внутренней степени свободы в $(2+1)$ -мерном пространстве-времени. Разработанный метод и полученные точные аналитические результаты открывают новое научное направление в исследовании двумерных хорошо локализованных осциллирующих (бризерных) решений уравнений класса $O(3)$ инвариантных нелинейных сигма-моделей, являющихся достаточно сложными объектами для задач математического моделирования. Заметим, что бризерные локализованные решения полезны также в непосредственных практических задачах, в том числе для исследования свойств сигналов оптических волокон, явлений физики плазмы, возникновения электромагнитных полей и различных типов моделей нелинейных метаматериалов.

Ряд новых результатов, полученных в диссертационной работе Ф.Шокира посвящены решению задач численного моделирования эволюции стационарных, движущихся и взаимодействующих двумерных границ магнитных доменов и топологических вихрей. Разработаны алгоритм, численные схемы и компьютерные коды, позволяющие проведение численного моделирования эволюции нелинейных процессов в практически бесконечном пространстве, путем его компактификации в единичную сферу: $S^2 - R_{comp}^2$ и внедрением граничных затухающих условий, поглощающих линейные волны излучения. Получены эволюционные модели как отдельных локализованных решений, так и процессов их взаимодействия (n -частичных динамических систем: $n \leq 3$) в рамках $(2+1)$ -мерных нелинейных эволюционных уравнений синус-Гордона и $O(3)$ нелинейной сигма-модели.

Получены электронные модели-эквиваленты эволюции процессов взаимодействия топологических локализованных решений в обращенном времени ($t = -t'$), подтверждено свойство T -инвариантности исследуемых моделей. Исследование свойств T -симметрии физических явлений

проведенные в диссертационной работе Ф.Шокира наряду с подтверждением фундаментальных свойств симметрии пространства-времени имеют также важные значения в прикладных задачах, в том числе, в медицинской визуализации, эхо-импульсном контроле, разработки нанофотонных устройств, переключаемых узкополосных оптических изоляторов, а также в подводной акустике и в исследовании экстремальных волн.

Новые результаты получены в исследовании квантовых систем с высоким значением спина $|\psi\rangle^{(s>j\hbar)}$ ($j \geq \frac{1}{2}$). Исследования высокоспиновых квантовых систем имеет важное фундаментальное значение, в том числе в физике элементарных частиц, для классификации запутанности в симметричных квантовых состояниях, изучения бозе-конденсата с высокими спинами, расчета геометрических фаз систем с большим спином, статистики хаотических квантово-динамических систем. Исследования данных систем имеет также широкий спектр практических приложений, начиная от квантовой оптики до высокоточной генерации распределенной многокубитной запутанности для больших квантовых сетей.

Диссертация к защите представляется впервые.

Актуальность темы. Поиск аналитических и численных решений нелинейных уравнений имеет большое значение и играет ключевую роль в получении полезной информации о нелинейных физических явлениях. Нелинейные эволюционные уравнения, возникают не только во многих областях математики, но и в других областях науки, таких как физика, механика и материаловедение. Огромный практический потенциал нелинейных эволюционных уравнений и проблемы их теоретического изучения привлекли большой интерес многих математиков и ученых, занимающихся нелинейными науками. Актуальность диссертационной работы определяются также тем, что полученные аналитическими и численными методами локализованные динамические и топологические решения $(2+1)$ -мерной, а также система полиномов для описания квантовых систем с высокими значениями спина являются новыми, которые, как показано в работе, в определенных случаях улучшают и обобщают результаты зарубежных исследований.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается сходимостью и устойчивостью разработанных разностных схем второго порядка точности, совпадением расчетных данных тестовых задач с результатами других авторов, сохранением точности интегралов энергии эволюционных моделей $-\frac{\Delta E n}{E n_0} \leq 10^{-3}$, а также подтверждается литературными данными.

Личный вклад автора. Задачи исследования были сформулированы совместно с научным консультантом работы, который оказывал консультативное содействие. Основные результаты диссертационной работы, отражённые в разделах «Научная новизна» и «Положения, выносимые на защиту», получены лично автором.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые:

– разработаны алгоритм, численные схемы и компьютерные коды для численного моделирования эволюции локализованных решений (2+1)-мерных нелинейных эволюционных уравнений синус-Гордона и O(3) нелинейной сигма-модели с достаточно высокой точностью сохранения энергии: $\frac{\Delta E_n}{E_n} \leq 10^{-3}$;

– получены численные модели-эквиваленты исследуемых объектов, выявлены и визуализированы ряд новых свойств процессов взаимодействия динамических и топологических локализованных решений;

– получен аналитический вид бризерного решения (2+1)-мерного уравнения синус-Гордона, численным моделированием показана ее устойчивость для достаточно большого значения времени ($t_n, n = 3 \times 10^4$) эволюции – $\frac{\Delta E_n}{E_n} \leq 10^{-5}$. На основе данных решений численным моделированием, добавлением возмущения вектору изотопического спина получены бризерные решения O(3) нелинейной сигма-модели;

– разработаны алгоритм, численные схемы и компьютерные коды для численного моделирования взаимодействия локализованных решений в рамках (2+1)-мерных уравнений синус-Гордона и O(3) нелинейной сигма-модели в обращенном времени: $t = -t'$;

– получены численные модели, описывающие процессы взаимодействия топологических локализованных решений в обращенном времени ($t = -t'$) и подтверждено свойство T-инвариантности исследуемых моделей, а также показана корректность численных схем, алгоритмов и компьютерных кодов, разработанных для численного исследования поставленной задачи;

– получено выражение для корреляционных функций ориентированных состояний для представления чистых квантовых спиновых систем на основе базовых состояний со спином $S = \hbar/2$ для $j \geq 1/2$, с использованием методов представления Майораны.

Научно-практическая значимость исследования. Результаты по численному моделированию взаимодействия хорошо локализованных решений – солитонов нелинейных эволюционных уравнений, представленные в настоящей диссертационной работе, могут быть использованы для

теоретического руководства специалистами-экспериментаторами и разработчиками для оптимизации управления и передачи локализованных сгустков энергии и имеет существенное значение в практических приложениях от модельных примеров для обучения до применения в микроэлектронных устройствах. Локализованные решения, описывающие локализованные структуры нелинейных систем являясь аттракторами динамики, к которым система сходится из широкого набора начальных условий имеют широкий спектр различных практических применений – в магнитной наноэлектронике, квантовых телекоммуникационных сетях, квантовой информатике, квантовой оптике, плазмооптических системах, квантовой акустике, лазерной технологии, а также в биофизике и биологии.

С точки зрения спиновой классификации, исследования в основном проведены в рамках фермионных моделей, т.е. в квантовых системах со спином $S = \hbar/2$. Но, также были проведены исследования квантовых спиновых систем для состояний с $S \geq \hbar/2$, результаты которого приведены в пятой главе работы.

Структуру диссертационной работы составляет исследование актуальных вопросов, разработанные методы и практические результаты математического моделирования нелинейных явлений по следующим направлениям: – теоретико-методологическое исследование нелинейных эволюционных уравнений; теоретические и практические исследования в рамках систем на крайнем квантовом пределе значения спинового числа – $S = \frac{\hbar}{2}$, где в качестве модельной лаборатории для проведения вычислительных экспериментов использованы двумерные уравнения синус-Гордона и O(3) нелинейной сигма-модели; теоретические и практические исследования вопросов математического моделирования динамики процессов в рамках квантовых систем с высокими значениями спина – $S > \frac{\hbar}{2}$.

Защищаемые положения:

– алгоритм, численные схемы и компьютерные программы, позволяющие проведение численного моделирования процессов эволюции динамических и топологических локализованных решений в рамках (2+1)-мерных нелинейных эволюционных уравнений;

– численные методы, позволяющие получить новые движущиеся границы магнитных доменов, где получены модели их взаимодействия и выявлены условия образования единой осциллирующей структуры, дальнего действия и прохождения доменных стенок друг сквозь друга;

– численное моделирование процессов взаимодействия топологических локализованных решений – топологических вихрей и границ магнитных

доменов. Показано, что при любых параметрах взаимодействующей системы, топологический вихрь с топологическим зарядом Q_t распадается на $2Q_t$ локализованных возмущений, движущихся вдоль доменной стенки во взаимно-противоположных направлениях со скоростью света ($c = 1$). Показано также, что доменная стенка при любых параметрах взаимодействующих («духчастичных») систем сохраняет устойчивость;

– численное моделирование процессов модели «трехчастичного» взаимодействия топологических локализованных решений – топологических вихрей и границы магнитных доменов. Выявлены новые свойства полученных моделей, при различных скоростях и конфигурациях взаимодействующих топологических решений.

– разработка численных методов, позволяющие получить новые осциллирующие топологические вихри $(2+1)$ -мерной $O(3)$ нелинейной сигма-модели, получены модели их взаимодействия и показана устойчивость данных решений;

– аналитический вид бризерных решений $(2+1)$ -мерного уравнения синус-Гордона. На основе найденных решений, добавлением вращения вектору A_3 -поля в изотопическом пространстве двумерной сферы S^2 получены численные бризерные решения для $O(3)$ нелинейной сигма-модели;

– численное моделирование процессов эволюции во времени полученных бризерных решений, а также их взаимодействия с топологическими вихрями и границами магнитных доменов. Показано, что полученные аналитически бризерные решения сохраняют устойчивость, как и свободной эволюции так и при взаимодействии с топологическим вихрем и границей магнитных доменов;

– алгоритм, численные схемы и компьютерные программы, позволяющие проведение численного моделирования процессов эволюции топологических локализованных решений и их взаимодействия в рамках $(2+1)$ -мерных нелинейных эволюционных уравнений в обращенном времени ($t = -t'$). Подтверждено свойство Т-инвариантности исследуемых $(2+1)$ -мерных уравнений синус-Гордона и $O(3)$ нелинейной сигма-модели и показана точность разработанного алгоритма, численной схемы и пакета компьютерных программ;

– общий вид функции распределения вероятности согласования ориентированных спиновых систем при различных значениях спинового числа $S = j\hbar$ ($j \geq \frac{1}{2}$), полученный на основе исследования представления Майораны.

Рекомендации по использованию результатов. Результаты диссертационной работы с точки зрения практических приложений могут быть использованы в прикладной науке и технике в таких областях как гидродинамика, плазма, нелинейная оптика, астрофизика и молекулярная биология, а также в теории солитонов для изучения многих важных практических проблем. В частности, в волоконной оптике концепция хорошо локализованных метастабильных структур – солитонов была эффективно использована для передачи цифровых сигналов на большие расстояния. Помимо применения в связи, локализованные структуры, описываемые локализованными решениями, также находят применение в оптических переключателях. Сегодня оптические локализованные структуры остаются одним из самых активных тем исследований из-за их значительных потенциальных приложений в информационных и коммуникационных технологиях. Локализованные решения нелинейных эволюционных уравнений занимают видное место и при изучении плазмы, состоящей из большого числа заряженных частиц. Например, пыльная плазма, содержащая небольшие заряженные частицы пыли, может быть моделирована с использованием цепочек нелинейных осцилляторов, которые допускают несколько типов решений в виде уединенных волн. В биологии теория метастабильных локализованных решений – солитонов применяется для описания распространения сигналов и энергии в биомембранах, нервной системе и низкочастотного коллективного движения в белках и ДНК.

Соответствие диссертации требованиям, установленным пунктом 35 Положения «О порядке присуждения учёных степеней».

Диссертация соответствует требованиям, установленным пунктом 35 Положения «О порядке присуждения учёных степеней».

Обоснование выбранной специальности и отрасли науки диссертации.

Диссертация соответствует следующим областям исследований по паспорту специальности (05.13.18):

- п.1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;
- п.2. Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей;
- п.3. Разработка и обоснование методик и правил адаптации компьютерных моделей, их эффективного использования при прогнозах эволюции объектов, систем, процессов и явлений.
- п.4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;

– п.5. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;

– п.6. Комплексные исследования научно-технических и фундаментально-прикладных проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента;

– п.9. Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования;

– п.10. Разработка качественных, аналитических, приближенных, численных и имитационных методов подготовки и реализации этапов вычислительного эксперимента.

Отрасль науки – физико-математические науки, поскольку приведённые результаты исследований получены в основном применением математических методов в качестве аппарата исследований (в том числе решение дифференциальных, интегральных и разностных уравнений) в виде новых математических и численных моделей, вычислительных алгоритмов, динамических эволюционных численных и компьютерных моделей, характеризующие изучаемые физические объекты, нелинейные системы и явления.

Полнота изложения материалов диссертации.

По теме диссертации соискателем опубликованы более 120 печатных работ, в том числе 21 работ в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, изданы 3 монографии и получены 12 Свидетельств о государственной регистрации компьютерных программ. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем, достаточная.

Монографии

1. Шокиров, Ф.Ш. Динамические и топологические солитоны в нелинейных сигма-моделях [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – Душанбе: «Дониш». – 2014. – 387 с. – ISBN: 978-99975-44-49-0.

2. Шокиров, Ф.Ш. Динамика локализованных структур в нелинейных моделях теории поля [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – М.: Нобель Пресс. – 2015. – 388 с. – ISBN: 978-5-519-49053-5.

3. Шокиров, Ф.Ш. Математическое моделирование нелинейных динамических систем квантовой теории поля [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2017. – 375 с. – ISBN: 978-5-7692-1547-6.

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации

1. Шокиров, Ф.Ш. Взаимодействие бризера с доменной стенкой в двумерной $O(3)$ нелинейной сигма-модели [Текст] / Ф.Ш.Шокиров // Компьютерные исследования и моделирование. – 2017. – Т. 9(5). – С. 773–787. – doi: 10.20537/2076-7633-2017-9-5-773-787. (**Scopus**).

2. Шокиров, Ф.Ш. Динамика взаимодействия блоховских доменных границ в двумерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Ф.Ш.Шокиров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2017. – Т. 10(4). – С. 132–144. – doi: <https://doi.org/10.14529/mmp170413>. (**Scopus, Web of Science**).

3. Шокиров, Ф.Ш. Новые двумерные бризерные решения $O(3)$ векторной нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2011. – Т. 54 (10). – С. 825–830.

4. Шокиров, Ф.Ш. Динамика взаимодействия топологических вихрей с доменной стенкой в $(2+1)$ -мерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2015. – Т. 58 (4). С. 302–308.

5. Шокиров, Ф.Ш. Динамика взаимодействия доменных границ в $(2+1)$ -мерной $O(3)$ нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х. Муминов, Ф.Ш. Шокиров // Известия Академии наук Республики Таджикистан. – 2015. – Т. 161 (4). – С. 57–64.

6. Шокиров, Ф.Ш. Формирование и эволюция бризеров $(2+1)$ -мерной $O(3)$ нелинейной σ -модели [Текст] / Ф.Ш.Шокиров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2015. – Т. 58(11). – С. 990–996.

7. Шокиров, Ф.Ш. Взаимодействие динамических и топологических солитонов в 1D нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2016. – Т. 59 (3–4). – С. 120–126.

8. Шокиров, Ф.Ш. Изоспиновая динамика топологических вихрей [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2016. – Т. 59 (7–8). – С. 320–326.

9. Шокиров, Ф.Ш. Численное моделирование топологических вихрей в квазидвумерных системах [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2016. – Т. 59 (11–12). – С. 483–488.

10. Шокиров, Ф.Ш. Математическое моделирование бризеров двумерной $O(3)$ нелинейной сигма-модели [Текст] / Ф.Ш.Шокиров // Математическое моделирование и численные методы. – 2016. Т. 4 (12). – С. 3–16. – doi: 10.18698/2309-3684-2016-4-316.

11. Шокиров, Ф.Ш. Динамика топологических трехсолитонных взаимодействий в нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование. – 2017. – Т. 16 (2). – С. 53–68.
12. Шокиров, Ф.Ш. Численное моделирование процессов формирования топологических вихрей на двумерных доменных стенках [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2017. – Т. 60 (10). – С. 501–507.
13. Шокиров, Ф.Ш. Численное моделирование трехсолитонных взаимодействий в двумерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. – 2018. – № 1. – С. 24–33.
14. Шокиров, Ф.Ш. Динамика взаимодействия разнотипных доменных границ в (2+1)-мерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Естественные и технические науки. – 2018. – Т. 2 (116). – С. 152–155.
15. Шокиров, Ф.Ш. Численное моделирование процессов аннигиляции взаимодействующих топологических вихрей в обращенном времени [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Вестник НИЯУ «МИФИ». – 2018. – Т. 7 (3). – С. 253–263. – doi: 10.1134/S2304487X18030100.
16. Шокиров, Ф.Ш. Численное моделирование процессов взаимодействия и распада топологических вихрей в обращенном времени [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Математика и математическое моделирование. – 2018. – № 2. – С. 1–18. – doi: 10.24108/mathm.0218.0000099.
17. Шокиров, Ф.Ш. Динамика взаимодействия топологических солитонов в обращенном времени [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2018. – № 5. – С. 10–22.
18. Шокиров, Ф.Ш. Динамика взаимодействия двумерных доменных стенок с топологическим вихрем [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров // Сибирский физический журнал. – 2018. – Т. 13(2). – С. 5–15. – <https://doi.org/10.25205/2541-9447-2018-13-2-5-15>.
19. Шокиров, Ф.Ш. Численное моделирование взаимодействия бризерных решений (2+1)-мерной $O(3)$ нелинейной сигма-модели [Текст] / Ф.Ш.Шокиров // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2018. – Т. 21(4). – С. 64–79. – doi: <https://doi.org/10.15688/mpcm.jvolsu.2018.4.6>.
20. Шокиров, Ф.Ш. Представление Майораны для квантовых спиновых систем [Текст] / Ф.Ш.Шокиров // Известия Национальной академии наук Таджикистана. – 2022. – № 1 (186). – С. 62–70.

21. Шокиров, Ф.Ш. Математическое моделирование квантовых систем с высоким значением спина [Текст] / Ф.Ш.Шокиров // Известия Национальной академии наук Таджикистана. – 2022. – № 4 (189). – С. 66–76.

Свидетельства о государственной регистрации разработанных комплексов компьютерных программ

1. Шокиров, Ф.Ш. Комплекс компьютерных программ для проведения численного моделирования и визуализации взаимодействия магнитных вихрей с доменной стенкой в двумерных $O(3)$ нелинейных сигма-моделях непертурбативных квантовых теорий поля [Текст] / Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. ГУ «НПИЦ» МЭРТ РТ. – 26.10.2015. – №4201500324.

2. Шокиров, Ф.Ш. Пакет компьютерных программ для проведения численного моделирования и визуализации эволюции и взаимодействия 180-градусных доменных стенок неёловского типа в двумерных $O(3)$ векторных нелинейных сигма-моделях [Текст] / Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. ГУ «НПИЦ» МЭРТ РТ. – 26.10.2015. – №4201500325.

3. Шокиров, Ф.Ш. Параметрическая база данных для генерации новых движущихся бризерных решений 2D $O(3)$ нелинейной сигма-модели [Текст] / Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. ГУ «НПИЦ» МЭРТ РТ. – 02.06.2016. – №1201600338.

4. Шокиров, Ф.Ш. Параметрическая база данных для генерации новых стационарных бризерных решений $(2+1)$ -мерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса. ГУ «НПИЦ» МЭРТ РТ. – 02.06.2016. – №1201600339.

5. Шокиров, Ф.Ш. Комплекс компьютерных программ для численного моделирования эволюции взаимодействия доменных стенок и бризеров $(2+1)$ -мерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ФСИС «Роспатент» РФ. – 26.10.2016. – №2016661995.

6. Шокиров, Ф.Ш. Программа для численного моделирования взаимодействия осциллирующих солитонов (бризеров) двумерной $O(3)$ нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ФСИС «Роспатент» РФ. – 03.11.2016. – №2016662243.

7. Шокиров, Ф.Ш. Программа для численного исследования динамики квазидвумерных топологических вихревых пар в $(3+1)$ -мерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ФСИС «Роспатент» РФ. – 06.02.2017. – №2017611544.

8. Шокиров, Ф.Ш. Программа для численного исследования динамики взаимодействия квазидвумерных топологических вихрей и доменных стенок в 3D нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ФСИС «Роспатент» РФ. – 15.03.2017. – №2017613314

9. Шокиров, Ф.Ш. Программа для численного исследования динамики взаимодействия 180-градусных нееловских и блоховских доменных границ в двумерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ФСИС «Роспатент» РФ. – 17.11.2017. – №2017662789.

10. Шокиров, Ф.Ш. Программа для численного исследования динамики трехсолитонных взаимодействий – топологического вихря с 180-градусными доменными границами в (2+1)-мерной нелинейной сигма-модели [Текст] / Х.Х.Муминов, Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ФСИС «Роспатент» РФ. – 15.11.2017. – №2017662706.

11. Шокиров, Ф.Ш. Программа для численного расчёта эволюции взаимодействия (2+1)-мерных пространственно-временных топологических структур в обращенном времени [Текст] / Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ФСИС «Роспатент» РФ. – 22.11.2018. – №2018664820.

12. Шокиров, Ф.Ш. Программа для численного исследования геометрических свойств спиновых когерентных состояний в проективном гильбертовом пространстве [Текст] / Ф.Ш.Шокиров. – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. ФСИС «Роспатент» РФ. – 22.11.2018, – №2018664769.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях более 50 международных и республиканских научных конференциях.

По итогам обсуждения принято следующее

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация к.ф.-м.н. Ф.Шокира на тему «Математическое моделирование динамических и топологических локализованных решений нелинейных эволюционных уравнений» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, и отвечает требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, Порядка присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.06.2021г. №267 (в редакции пост. Правительства РТ от 26.06.2023 №295), предъявляемых к диссертациям, предложенным на соискание ученой степени доктора наук.

Заключение принято на расширенном заседании научного семинара Физико-технического института им. С.У.Умарова Национальной академии наук Таджикистана с участием приглашенных специалистов из Научно-исследовательского института, а также механико-математического и физического факультетов Таджикского национального университета, Российско-Таджикского (Славянского) университета, Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, Филиала Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова в г. Душанбе, Института математики им. А.Джураева Национальной академии наук Таджикистана.

Присутствовало на заседании 23 научных работников, в том числе 7 доктора наук.

Результаты голосования: «за» – 23 чел., «против» – нет, «воздержавшиеся» – нет. Протокол №4 от 05 апреля 2024 года.

Председатель заседания,


директор ФТИ НАНТ,
доктор физико-математических наук



Зарифзода А.К.

Секретарь заседания,

и.о. учёного секретаря ФТИ НАНТ,
кандидат технических наук



Каюмов М.М.

Независимые рецензенты:

Салихов Тагоймурод Хаитович,

главный научный сотрудник Отдела
физики конденсированного состояния НИИ
Таджикского технического университета,
доктор физико-математических наук, чл.-корр. НАНТ



Сафаров Амиршо Гоибович,

главный научный сотрудник Центра
исследования и использования
возобновляемых источников энергии
ФТИ НАНТ, доктор технических наук



Начальник ОК ФТИ НАНТ



Ёрова М.Д.