ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертационную работу Мухамедовой Шоиры Файзуллоевны на тему "Формирование и динамика когерентных структур в нелинейных диссипативных системах со спинами $S \geq 1/2$", представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Исследование формирования и динамики когерентных структур в нелинейных диссипативных системах со спинами $S \geq 1/2$ имеет фундаментальное и практическое значение, поскольку такие системы играют ключевую роль в разработке новых квантовых технологий. Эти системы присутствуют в широком спектре приложений, от квантовой информации до материаловедения, и представляют собой платформу для реализации квантовых компьютеров и высокочувствительных сенсоров. Способность управлять и использовать когерентные структуры в спиновых системах может революционизировать технологии обработки информации, делая их быстрее и энергоэффективнее. Это также открывает новые подходы к изучению нелинейной динамики и термодинамики открытых систем, что имеет широкие научные и технологические приложения.

Соискатель, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой информационно-коммуникационных технологий и программирования Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики, обладает многолетним опытом научно-педагогической деятельности. За годы работы проявила себя как квалифицированный специалист, внёсший весомый вклад в подготовку кадров и развитие научных исследований в области математического моделирования и информационных технологий.

Диссертационная работа Мухамедовой Ш.Ф. состоит из списка сокращений и обозначений, введения, общей характеристики исследования,

пять глав, выводов, рекомендаций по практическому использованию результатов, списка литературы и приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, оценивается уровень освоения научной проблемы, объект и предмет исследования, его цель и задачи, теоретическое и методологические основы, научные новизна, определяются теоретическая и практическая значимость.

В первой главе представлено квазиклассическое описание спиновых систем с $S \geq 1/2$, основанное на методах обобщённых когерентных состояний и групповых симметриях SU(2) и SU(3). Рассмотрены основные принципы перехода от квантово-механического к классическому описанию, включая усреднение спиновых гамильтонианов и вывод уравнений движения. Особое внимание уделяется влиянию анизотропии, обменных взаимодействий и нелинейных эффектов на динамические свойства спиновых систем. Показано, что использование квазиклассических методов позволяет описать солитонные и мультипольные возбуждения, возникающие в системах со значениями спина $S \geq 1/2$.

В второй главе рассматриваются постановка задачи математического моделирования и методы построения многосолитонных решений нелинейного уравнения Шрёдингера как в скалярном, так и в векторном представлениях с различными типами потенциалов. Изложены теоретические основы построения многосолитонных решений с применением алгебро-геометрических подходов и методов обратной задачи рассеяния. Особое внимание уделено нахождению решений для систем с различными граничными условиями, такими как убывающие и конденсатные границы. Показано, что предложенные методологические подходы позволяют исследовать эволюцию многосолитонных конфигураций, их взаимодействие и динамическую устойчивость в рамках нелинейных систем.

В третьей главе представлены методы численных расчетов математического моделирования и исследования скалярного нелинейного

уравнения Шрёдингера с убывающими граничными условиями. Рассматриваются ключевые аспекты динамики солитонных решений, включая их устойчивость и эволюцию в нелинейных средах. Особое внимание уделяется бризерам, то есть локализованным решениям с пульсирующей внутренней динамикой, возникающим под действием внешней подкачки и затухания. Разработанные численные подходы и аналитические методы позволяют исследовать особенности многосолитонных решений, определить условия их формирования и стабилизации, а также выявить закономерности поведения системы при различных параметрах.

В четвёртой главе рассматриваются многосолитонные решения скалярного нелинейного уравнения Шрёдингера с конденсатными граничными условиями, также анализируются хаотические состояния многосолитонных решений. Основная цель данной главы заключается в исследовании эволюцию этих решений во времени и анализу их устойчивости в зависимости от начальных условий и параметров системы. Посредством численного моделирования демонстрируется, как малые возмущения или изменения параметров системы влияют на траекторию её эволюции, вызывая модификацию скалярного нелинейного уравнения Шрёдингера. В частности, внесение небольших возмущений подкачки и затухания позволяет изучить, как колебания энергии и процессы диссипации отражаются на долгосрочной динамике и устойчивости многосолитонных решений. Эти эффекты вносят дополнительную сложность в систему и приближают её описание к реальным физическим условиям, где полное исключение внешних воздействий невозможно. Численные методы позволили впервые получить и отследить эволюцию многосолитонных решений, проанализировать их поведение в различных режимах и определить области устойчивости и неустойчивости параметров.

В пятой главе рассматриваются методы математического моделирования многосолитонных решений для векторной версии нелинейного уравнения Шрёдингера. Особое внимание уделяется анализу их динамики, устойчивости

и взаимодействия в различных физических режимах. Представлены аналитические и численные подходы, позволяющие исследовать эволюцию многосолитонных конфигураций с учётом нелинейных эффектов, диссипации и внешней подкачки. Показано, что многосолитонные решения векторного нелинейного уравнения Шрёдингера впервые демонстрируют сложное поведение, включая бризерную динамику и формирование устойчивых локализованных структур при определённых параметрах системы. Разработанные численные модели и методы позволяют детально проанализировать влияние начальных условий, граничных параметров и внешних воздействий на характер эволюции многосолитонных решений.

Цель диссертационной работы заключается в разработке новых теоретических и численных методов для исследования формирования и динамики когерентных структур в нелинейных диссипативных системах с различными значениями спина. Работа направлена на углубление понимания процессов самоорганизации в этих сложных квантовых системах. Для реализации поставленной цели перед соискателем стоял комплекс задач, охватывающих как теоретические, так и прикладные аспекты изучения нелинейных диссипативных систем со спинами. К основным задачам диссертационного исследования относятся: теоретический анализ существующих подходов и методов с целью систематизации текущего состояния знаний в данной области, выявления проблем и ограничений существующих теорий, разработка новых математических моделей, адекватно описывающих процессы формирования и эволюции когерентных структур с учётом диссипации, внешних полей и взаимодействия со средой, создание и адаптация численных методов и алгоритмов для моделирования разработанных моделей, их тестирование на устойчивость и точность, исследование устойчивости когерентных структур в зависимости от параметров системы, анализ динамики таких структур, включая солитоны и вихри, в различных физических режимах, проведение численных экспериментов для верификации моделей и сравнение результатов с

теоретическими предсказаниями, изучение возможностей применения полученных результатов в квантовых технологиях, таких как квантовые вычисления, спинтроника и квантовая сенсорика. Следует отметить, что все эти задачи в ходе выполнения работы были успешно решены соискателем Мухамедовой Ш. Ф. В частности, был проведён глубокий анализ литературы, выявлены основные проблемы и пробелы в существующих теориях. Соискатель разработала новые математические модели, основанные на уравнении типа нелинейного уравнения Шрёдингера, дополненного членами, описывающими диссипацию и внешние воздействия. Были адаптированы и созданы новые численные алгоритмы, позволяющие моделировать поведение когерентных структур с высокой точностью. Проведён комплексный анализ устойчивости и динамики этих структур, включая их эволюцию во времени и взаимодействие в различных условиях. Серия численных экспериментов подтвердила состоятельность теоретических подходов. Разработанные методы и модели обладают потенциалом практического применения в области квантовых технологий. В частности, они могут использоваться для повышения точности и надёжности квантовых вычислений, в системах управления квантовыми состояниями и подавления ошибок. Также возможны применения в смежных областях — квантовой оптике, материаловедении и сенсорике. Особо стоит подчеркнуть личный вклад Мухамедовой Шоиры Файзуллоевны в выполненное исследование. Она самостоятельно формулировала задачи, разрабатывала оригинальные математические модели, адаптировала и создавала численные методы, проводила верификацию моделей с помощью численных экспериментов. Активное участие соискателя в подготовке научных публикаций и докладов на международных конференциях обеспечило признание её научных результатов в профессиональном сообществе. Её работа внесла значимый вклад в развитие теории когерентных структур в квантовых нелинейных системах.

Диссертация на тему «Формирование и динамика когерентных структур в нелинейных диссипативных системах со спинами $S \geq 1/2$» Мухамедовой

Шоиры Файзуллоевной является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, которая соответствует требованиям Порядка присуждения учёных степеней (Постановление Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267) и Инструкции о порядке оформления диссертаций и автореферата диссертаций (постановление Президиума ВАК при Президенте Республики Таджикистан от 31 марта 2022 г., №3) и рекомендуется к защите на соискание степени доктора физико-математических наук, по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Научный консультант:
д.ф.-м.н., профессор
академик НАН Таджикистана Рахими Ф.К.

Адрес: 734063, Республика Таджикистан,
г. Душанбе, ул. Спортивная, 6
Телефон: (+992) 900004499
E-mail: frahimi2002@mail.ru

Подпись Рахими Ф.К. заверяю,
начальник отдела кадров Комитета по
начальному и среднему профессиональному
образованию при Правительстве
ресбуплики Таджикистан Назарзода Д.
03.01.2025

Адрес: 734063, Республика Таджикистан,
г. Душанбе, ул. Спортивная, 6
Телефон: (+992) 446000304
E-mail: tender@investcom.tj