

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии PhD по специальности «6D060400 – Физика»

САГИДУЛЛАЕВА ЖАННА МУРАТБЕКОВНА

ЛОКАЛЬНЫЕ И НЕЛОКАЛЬНЫЕ ИНТЕГРИРУЕМЫЕ СПИНОВЫЕ СИСТЕМЫ С САМОСОГЛАСОВАННЫМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ

Диссертационная работа посвящена исследованию некоторых интегрируемых локальных и нелокальных обобщенных спиновых моделей в рамках теории солитонов.

Актуальность темы

В настоящее время теория солитонов стремительно развивается. Солитон представляет собой структурно устойчивую уединённую волну, распространяющуюся в нелинейной среде. Благодаря своим особым свойствам солитоны ведут себя подобно частицам (частицеподобная волна): при взаимодействии друг с другом или с некоторыми другими возмущениями они не разрушаются, а продолжают движение, сохраняя свою структуру неизменной. Это свойство может использоваться для передачи данных на большие расстояния без помех. Это открывает огромные возможности для использования солитонов. Солитоны и солитоноподобные волны могут наблюдаться в различных областях физики. Математическое описание солитонов также получило развитие. За последние десятилетия теория нелинейных эволюционных уравнений продвинулась настолько, что появились нелокальные модели: пространственные, временные и пространственно-временные.

Исследование спиновых систем относится к фундаментальным задачам современной физики. Однако, вопросы, связанные с описанием нелокальных интегрируемых спиновых систем, остаются открытыми и данное направление стало одним из активных областей исследований в области физики и математики за последние годы. В рамках теории солитонов определение взаимодействий спинов и спиновых цепочек достаточно лаконично включает теорию интегрируемых систем. К важному подклассу нелинейных эволюционных уравнений - интегрируемым спиновым системам, которые описывают динамику распространения волновых пакетов в магнетиках, относится обобщенное уравнение Ландау-Лифшица (ОУЛЛ). В данном исследовании изучается ОУЛЛ с самосогласованными потенциалами и его эквиваленты. Фундаментальное понимание спиновых систем, а также систем с самосогласованными потенциалами и их исследование поможет расширить наше понимание магнитных материалов и спиновой динамики. В последствии это даст возможность исследовать различные аспекты, такие как структура спиновых волн, магнитные домены и взаимодействия между спинами.

Интегрируемые спиновые системы с самосогласованными потенциалами

представляют большой интерес с точки зрения теоретической физики. Они позволяют получать точные аналитические решения, а также исследовать свойства солитонов - нелинейных волновых структур, которые могут быть стабильными и передвигаться без искажений. Изучение солитонов в спиновых системах имеет важное значение для разработки новых методов передачи и обработки информации. Исследования в данной области способствуют развитию спинтроники и магнитоэлектроники. Спинтроника является междисциплинарной областью исследования, в нее вовлечены ученые и исследователи из различных областей, таких как физика, материаловедение, электроника и технологии. Эти области технологии основаны на использовании свойств и управлении спиновым моментом электронов. Понимание и контроль спиновой динамики в различных системах открывает новые возможности для создания более эффективных и мощных устройств, таких как устройства магнитной памяти, спинтронные транзисторы и логические элементы, магнитные датчики и т.д.

Результаты исследований в области спиновых систем с самосогласованными потенциалами могут иметь прямое применение в различных технологических областях. Например, разработка новых материалов и структур на основе этих систем может привести к созданию более эффективных и мощных устройств в области спинтроники, магнитоэлектроники и информационных технологий. Кроме того, способствует развитию фундаментальных аспектов математической физики и имеет потенциал для применения в других областях науки и инженерии.

Цель работы – Теоретическое исследование локальных и нелокальных интегрируемых спиновых систем с потенциалом, поиск солитонных решений.

Для достижения цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Описать появление солитонов в ферромагнитных материалах на примере одномерных магнетиков.
2. Найти солитонные решения обобщенного уравнения Гейзенберга.
3. Получить новую спиновую систему, калибровочно эквивалентную уравнению семейства нелинейных уравнений Шредингера, ее представление Лакса для локального и нелокального случаев.

Объект исследования

Спиновые волны и динамика спинов в ферромагнитных материалах.

Предмет исследования

Солитонные и солитоноподобные решения, корректно описывающие динамику взаимодействия спинов в ферромагнитных материалах, в том числе с условием наличия потенциала.

Методы исследования

В диссертационной работе использованы методы теории солитонов, такие как прямой метод Хироты, метод преобразования Дарбу и метод $\left(\frac{G'}{G^2}\right)$ -разложения для нахождения решений уравнений с постоянными и переменными коэффициентами. Вышеназванные методы исключительно оптимальны для нахождения точных и аналитических решений интегрируемых

спиновых систем. Они также позволяют разработать систематическое построение разных видов решений: солитонных, решений типа разрушительных волн, бризеров, доменных стенок и т.д.

Новизна исследования

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что получена новая спиновая модель, описывающая движение вектора намагниченности в ферромагнетиках. Исследование характера поведения вектора намагниченности и спиновых волн позволяет поставить гипотезу о возможности появления солитонов в данной среде. В частности, получены следующие результаты:

- Новая спиновая система, калибровочно эквивалентная уравнению семейства нелинейных уравнений типа Шредингера.
- Представление Лакса, доказывающее интегрируемость полученной спиновой модели в рамках теории солитонов.
- Точные солитонные и солитоноподобные типы решений нелокальной обобщенной спиновой модели и модели с потенциалом.
- Обобщение методов нахождения солитонных и солитоноподобных решений нелокальных спиновых моделей. Нелокальные версии рассматриваемых моделей, приведенных в работе, могут обеспечить дальнейшие расширения с комплексными компонентами. В работе показано как естественным образом нелокальность может быть включена в пару вспомогательных уравнений, возникающих в этой ситуации. Также как нелокальность реализуется в стандартных типах процедур решения нелинейных уравнений.

Положения, выносимые на защиту

1. Коэффициент a в обобщенном уравнении Ландау-Лифшица с самосогласованным потенциалом влияет на поведение компонент спинового вектора S_3 и потенциала W_3 , с увеличением данного коэффициента наблюдается увеличение амплитуды потенциала.

2. Полученная новая спиновая система, калибровочно-эквивалентная обобщенному уравнению типа нелинейных уравнений Шредингера, описывает движение вектора намагниченности в ферромагнетиках; в нелокальном случае спиновая матрица S не является эрмитовой и обладает PT -симметрией вида $S(t, x) = \sigma_3 S^\dagger(t, -x) \sigma_3$, а для локального случая S – эрмитова.

3. Расширенный обобщенный метод $\left(\frac{G'}{G^2}\right)$ -разложения позволяет находить решения нелинейных эволюционных уравнений как с постоянными, так и с переменными коэффициентами, тогда как базовый метод $\left(\frac{G'}{G^2}\right)$ -разложения можно использовать только с постоянными коэффициентами.

Теоретическая и практическая значимость работы

Данная диссертационная работа относится к теоретическим исследованиям. Полученные результаты позволяют охарактеризовать процессы описывающие спиновые волны в одномерных ферромагнетиках и могут привести к важным приложениям в спинтронике. Полученные результаты

могут использоваться при изучении динамики спинов в ферромагнитных материалах, а также при преподавании специализированных дисциплин в высших учебных заведениях.

Личный вклад автора

Основные результаты диссертационного исследования получены лично автором. Численные расчеты и графики найденных решений выполнены автором самостоятельно. Публикации по теме диссертации подготовлены автором лично. Постановка задач, выбор методов исследования и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

Апробация диссертационной работы

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были представлены на следующих конференциях:

1. The International Conference in Advancement in Mathematical Sciences (AMS-2015) Анталия, Турция 2015.

2. The International Scientific Conference “Modern problems of applied mathematics and information technology – Al-Khorezmiy 2016” Бухара, Узбекистан 2016.

3. The first Annual Meeting of Kazakh Physical Society, Nazarbayev University, Астана 2018.

4. Семинары научной межкафедральной исследовательской группы «Функциональный анализ и математическая физика» (кафедра физики Калифорнийского государственного университета Фресно).

5. International Conference New Trends in the Applications of Differential Equations in Sciences, Св. Константин и Елена, Болгария 2019.

6. The XXVIth International Conference on Integrable Systems and Quantum symmetries (ISQS-26) Прага, Чехия 2019.

7. Уфимская Осенняя Математическая Школа – 2021», Башкирский государственный университет, Уфа, Башкортостан, Россия.

8. The XII. International Symposium on Quantum Theory and Symmetries (QTS12) Прага, Чехия.

Кроме того, полученные результаты обсуждались на кафедре общей и теоретической физики Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева и на семинарах Евразийского международного центра теоретической физики.

Публикации

По результатам диссертационной работы опубликовано 19 статей, в том числе: 2 статьи в журналах с ненулевым импакт-фактором, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science и Scopus; 3 статьи в сборниках зарубежных международных конференций, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, 3 статьи в периодических изданиях, рекомендованных КОКШВО МНВО РК; 11 статей и тезисов в материалах международных конференций РК. Основные публикации:

1. Sagidullayeva Zh., Nugmanova G., Myrzakulov R., Serikbayev N., Integrable Kuralay Equations: Geometry, Solutions and Generalizations// Symmetry. – 2022. – Vol. 14, No 7. – P. 1374. Impact Factor 2022 – 2.7. Q2, Процентиль 72.

2. Mohanty S. K., Pradhan B., Sagidullayeva Zh., Myrzakulov R., Dev A. N., Exact solutions for the Bogoyavlensky-Konopelchenko equation with variable coefficients with an efficient technique// Alexandria Engineering Journal. –2023.– Vol. 72. – P. 287-293. Impact Factor 2022 – 6.8. Q1, Процентиль 88.

3. Nugmanova G., Myrzakulov R., Sagidullayeva Zh. Hirota's method for a spin model with self-consistent potential // Journal of Physics: Conference Series, 804, 2017. - 012035.

4. Sagidullayeva, Z., Nugmanova, G., Myrzakulov, R. Integrable surfaces induced by generalized Landau-Lifshitz equation with self-consistent potential // Journal of Physics: Conference Series, 2019.

5. Sagidullayeva, Z., Nugmanova, G., Myrzakulov, R. Dispersionless limit of the Heisenberg ferromagnet equation with self-consistent potential // AIP Conference Proceedings, 2019.

6. Нугманова Г.Н., Сагидуллаева Ж.М. Обобщенная спиновая модель с векторным потенциалом и ее решение // Вестник Карагандинского университета, Серия Математика.-Караганда, 2017.-№2(86).-С. 91-96.

7. Сагидуллаева Ж.М. О калибровочной эквивалентности двухслойного уравнения М-ХСІХ и двухкомпонентного уравнения Шредингера-Максвелла-Блоха // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева. Серия физика, астрономия. – Астана, 2018 –№3(124).– С.41-46.

8. Albatyrova M.B., Sagidullayeva Zh.M. Rogue wave and soliton solution for the nonlinear integrable spin model // Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2023. – Vol. 2., No 346. – P. 19-26.

Связь темы диссертации с планами научных работ

Работа выполнялась в соответствии с планами научно-исследовательских работ в рамках проектов по грантовому финансированию по следующим проектам:

1. 0893/ГФ4 «Исследование обобщенного уравнения Ландау-Лифшица с самосогласованными источниками и его интегрируемых редукций» 2015-2017 гг (рук. Нугманова Г.Н.).

2. АР08857372 «Исследование связи геометрии поверхностей/многообразий и интегрируемых нелинейных эволюционных уравнений» 2020-2022 гг. (рук. Нугманова Г.Н.).

3. АР14972423 «Исследование некоторых интегрируемых локальных и нелокальных обобщенных спиновых систем» (грантовое финансирование исследований молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на 2022-2024 г. рук. Сагидуллаева Ж.М.).

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Работа изложена на 90 страницах машинописного текста, содержит 22 рисунка, приведено 279 формул, список использованных источников содержит 104 наименования.