

УТВЕРЖДАЮ



Член редколлегии
директор по науке ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина»

А.В. Германенко

«26» сентября 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертационную работу Расковалова Антона Александровича «Нелинейные возбуждения в магнетиках со спиральной и полосовой доменной структурой», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Актуальность темы диссертации.

В диссертации найдены и детально исследованы новые квазиодномерные магнитные солитоны в одноосном и двухосном ферромагнетиках, а также в длиннопериодических магнитных структурах. В качестве основного состояния исследуемых систем выбраны состояния с одномерной периодической пространственно-неоднородной магнитной структурой, в частности, полосовая доменная структура и магнитная спираль (геликоид). Целью автора был поиск солитонных решений в этих системах с помощью аналитических методов. Автор справился с поставленной задачей и сумел получить точные решения соответствующих интегрируемых моделей. Актуальность представленных результатов не вызывает сомнений: изученные системы достаточно часто встречаются на практике, полосовые доменные структуры на протяжении многих лет интенсивно исследовались как аналитически, так и численно. Отдельно следует отметить анализ нелинейных возбуждений в одноосном хиральном гелимагнетике, проведенный в заключительной главе работы, значительно расширяющий наше представление о возможных типах солитонных решениях в этой системе.

Структура и основное содержание работы.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав, Заключения и Приложения. Полный объем работы составляет 241 страницу, включая 45 рисунков и 125 наименований цитируемой литературы.

Во **Введении** сформулированы цель и задачи работы, обоснованы ее новизна, актуальность и научная и практическая значимость, указан личный вклад автора, приведены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** получены и детально проанализированы новые точные решения уравнения Ландау – Лифшица для ферромагнетика с анизотропией типа «легкая ось», которые описывают солитонные возбуждения на существенно неоднородном фоне полосовой доменной структуры. Показано, что наличие солитонов приводит к макроскопическим сдвигам структуры. В зависимости от величины сдвига, солитоны являются либо внутримоментными образованиями, либо служат зародышами перемангничивания. При значениях сдвига порядка периода структуры солитоны трансформируются в длинномасштабные пространственные модуляции структуры, которые могут двигаться без ограничений на скорость.

Во **второй главе**, с помощью метода обратной задачи рассеяния, построены и детально проанализированы нелинейные возбуждения в физически выделенной (модуляционно устойчивой) полосовой доменной структуре двухосного ферромагнетика. Проведен сравнительный анализ физических характеристик новых неподвижных и движущихся солитонов в доменной структуре двухосного и легкоосного ферромагнетиков. Установлено, что учет магнитодипольных сил приводит к ограничению на скорость движения солитонов во всей области их существования в доменной структуре, включая окрестности спин-волнового спектра.

В **третьей главе** решена задача аналитического описания нелинейных коллективных возбуждений в полубесконечном ферромагнетике с анизотропией типа «легкая плоскость». Выявлены два возможных типа солитонов в полуограниченном образце, а именно, волны поворота и пульсирующие солитоны – бризеры. Показано, что отражение волн поворота от границы образца пороговым образом зависит от величины и направления поля поверхностной анизотропии. Установлено, что ядра солитонов при столкновении с границей испытывают значительные изменения, которые не поддаются описанию в рамках нелинейной теории возмущений. Полученные результаты использованы для построения и анализа солитонных возбуждений полуограниченного хирального ферромагнетика с легкоплоскостной анизотропией.

В **четвертой главе** приведены результаты аналитического описания бризеров и комплекса из двух кинков в спиральной магнитной структуре в рамках интегрируемой модели синус-Гордон. Показано, что импульсное перемангничивание одного из доменов структуры позволяет генерировать в

структуре неподвижный бризер требуемой частоты и амплитуды. Выявлен сценарий разрушения движущегося бризера в спиральной структуре за счет неограниченного возрастания продольных модуляций структуры на переднем и заднем фронтах бризера с ростом его скорости. Указана возможность использования полученных результатов для аналитического описания солитонов электрической поляризации в циклоидальной структуре мультиферроиков.

В Заключение сформулированы основные результаты работы.

В Приложении обсуждается техника работы с эллиптическими функциями, используемыми в главах 1, 2 и 4 диссертации.

Научная новизна результатов диссертационной работы.

Можно выделить следующие и наиболее важные результаты диссертационной работы:

1. В диссертации впервые исследованы солитоны в ферромагнетиках с легкоосной анизотропией на фоне доменной структуры (глава 1) и на фоне магнитной спирали (главы 3, 4). Проведен подробный анализ взаимодействия солитонов с прилегающими к ним доменами и доменными стенками структуры основного состояния. Показано, что в рассматриваемых системах взаимодействие неподвижных солитонов с периодическим окружением приводит к формированию узельных состояний в магнитной конфигурации, в которых колебания намагниченности отсутствуют. Изучено изменение строения ядер движущихся солитонов в зависимости от скорости солитонов и их протяженности.

2. Автором найден особый случай сравнительно слабой двухосной анизотропии, в котором уравнения Ландау–Лифшица для двухосного ферромагнетика с доменной структурой удастся проинтегрировать явно (Глава 2). Для такого случая получены соответствующие точные решения и проведен их сравнительный анализ с солитонами в легкоосном ферромагнетике. Особое внимание уделено процессам делокализации полученных солитонов и их вырождения.

3. В главе 3 диссертации впервые исследовано отражение солитонов (волн поворота и бризеров) от границ полуограниченных легкоплоскостного и хирального ферромагнетиков. Установлены качественные особенности отражения солитонов от границы, которые могут быть верифицированы экспериментально.

4. В главе 4, в дополнение к проведенному анализу солитонов в спиральной магнитной структуре, решена практически важная задача, а именно, вычислен спектр поглощения мощности внешней накачки во внешнем магнитном поле в спиральной структуре, когда поле приложено перпендикулярно оси магнитной спирали. Показано, что возможные частоты неподвижных пульсирующих солитонов лежат в энергетической щели спектра стоячих спиновых волн, что облегчает их экспериментальное обнаружение.

5. В главах 1 и 4 проведено численное исследование возбуждения солитонов на периодическом фоне основного состояния из локализованного начального возмущения намагниченности. Даны практические рекомендации по возбуждению солитонов данного типа, которые могут быть использованы при экспериментальной проверке.

Достоверность результатов и обоснованность выводов обеспечивается тем, что найденные решения действительно удовлетворяют уравнениям Ландау–Лифшица и синус-Гордона, а также совпадением этих решений с известными при соответствующих предельных переходах.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Результаты диссертаций существенно расширяют представления о поведении и свойствах нелинейных возбуждений в магнитных средах с неоднородным основным состоянием. Автором успешно разрешены математические трудности, связанные с адаптацией известных методов нелинейной математической физики к задачам на периодическом фоне. Это позволило не только получить новые точные решения интегрируемых моделей магнетизма, но и провести их подробный анализ, в частности, выявить характер взаимодействия солитонов с доменами и доменными стенками периодической доменной структуры, указать возможности возбуждения солитонов на периодическом фоне, а также на механизмы их делокализации и разрушения.

Замечания по диссертационной работе.

1. На стр. 174, 196 диссертации для оценки скорости (одионого кинка) в спиральной магнитной структуре в рамках модели синус-Гордон использованы материальные константы соединения $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$. Этот выбор представляется неудачным, поскольку для данного соединения константа анизотропии типа легкая плоскость имеет один порядок с константой антисимметричного обмена, в то время, как модель синус-Гордон работает в предположении, что легкоплоскостная анизотропия является преобладающей.

2. В главе 4 упоминается полоса частот неподвижного бризера в гелимагнетике (см. Рис. 4.15, стр. 204). Следовало бы количественно оценить ширину этой полосы в зависимости от внешнего магнитного поля. Это особенно важно, поскольку в нулевом магнитном поле эта полоса вырождается в линию, что потребовало бы исключительно точной настройки резонансной частоты для возможного экспериментального обнаружения бризера, тогда как в конечных полях это жесткое ограничение снимается.

3. В главах 1, 2 и 4 оценки частот пульсирующих солитонов приведены в секундах в минус первой и герцах (см. стр. 58, 101, 193). На самом же деле, намагниченность в солитонах совершает круговую или эллиптическую прецессию вокруг оси анизотропии. Потому уместнее было бы использовать размерность радиан в секунду.

4. При обсуждении нелинейных спиновых волн в рамках общего формализма Главы 1, имеется фраза (стр. 31) «...Значения $u \in \Gamma$ параметризуют нелинейные спиновые волны в системе, расплывающиеся со временем из-за эффектов дисперсии». Идет ли здесь речь о расплывании волновых пакетов, изначально имеющих солитонную форму, за счет процессов дисперсии, превалирующих над нелинейностью, или же речь идет о процессах диссипации, которые приводят к временному затуханию амплитуды спиновых волн?

Приведенные замечания не снижают общую оценку работу. Диссертация содержит значимые результаты, изложенные на высоком уровне, и может быть рекомендована к защите.

Заключение (выводы о работе).

Диссертация А.А. Расковалова представляет собой завершенную научную работу, посвященную исследованию солитонных возбуждений в неоднородных магнитных структурах, единую по структуре и по замыслу. Заявленные в ней цели и задачи, безусловно, достигнуты. Проведенное в диссертации исследование динамики солитонов, существующих на сильнонелинейном фоне, представляет значительный вклад в теорию нелинейных явлений в магнитных средах. Вошедшие в диссертацию материалы опубликованы в 21 статье в российских журналах, входящих в список ВАК, и в международных журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Результаты диссертации прошли соответствующую апробацию на всероссийских и международных конференциях. Диссертация соответствует п. 5 паспорта специальности 1.3.3. Теоретическая физика «Теория конденсированного состояния. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них».

В целом, диссертация «Нелинейные возбуждения в магнетиках со спиральной и полосовой доменной структурой» удовлетворяет всем критериям, предъявляемым к работам, представляемым на соискание ученой степени доктора наук, и установленным в «Положении о присуждении ученых степеней» №842 от 24 сентября 2013 г. (с последующими изменениями), а ее автор Расковалов Антон Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Диссертационная работа Расковалова А.А. «Нелинейные возбуждения в магнетиках со спиральной и полосовой доменной структурой» была обсуждена на научном семинаре кафедры теоретической и математической физики Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, протокол № 100.089-06/09 от «25» сентября 2025 г.

Отзыв был обсужден и одобрен по результатам голосования участников семинара за – 26, против – 0, воздержавшихся – 0.

Елфимова Екатерина Александровна,
доктор физ.-мат. наук,
заведующий кафедрой теоретической
и математической физики ИЕНиМ



Е.А. Елфимова

ФГАОУ ВО «Уральский
федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
специальность 01.04.02 – Теоретическая физика
620002, Екатеринбург, пр. Ленина, 51
Тел.: +7 343 389 9477,

«26» сентября 2025 г.

e-mail: ekaterina.elfimova@urfu.ru

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В.А.



Адрес ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.