

«Утверждаю»

Проректор по научной и
инновационной деятельности

ФГАОУ ВО «Омский

государственный технический
университет», д.т.н., профессор

П.С. Ложников



« 1 » сентября 2026г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Ахметовой Айгуль Альфредовны

на тему: «Устойчивые состояния вихреподобных неоднородностей в одноосных ферромагнитных пленках с модулированными материальными параметрами», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Актуальность темы диссертации

В настоящее время не ослабевает интерес к экспериментальным и теоретическим исследованиям магнитных наноразмерных систем с особой вихреподобной структурой намагниченности, к которым относятся скирмионы. Столь активное внимание к таким неоднородностям обусловлено тем, что магнитные вихри и скирмионы обладают большим потенциалом применения в электронике и скирмионике, поскольку могут позволить способы обойти фундаментальные ограничения классической электроники: достижение предела плотности записи информации, нагрев при передаче информации и чувствительность к внешним воздействиям. Таким образом, магнитные вихри открывают путь к созданию принципиально новых, более энергоэффективных и быстрых устройств, что в первую очередь важно для сферы разработки магнитной памяти, в которой скирмионы предлагается использовать в качестве «бита информации» как более выгодную альтернативу традиционно применяемым магнитным доменам, благодаря следующим свойствам:

- Скирмионы имеют размеры порядка нескольких нанометров против десятка или сотен нанометров у доменов, что будет способствовать существенному увеличению плотности записи информации.
- Скирмионы обладают топологической защищенностью, что делает их устойчивыми к внешним магнитным и температурным воздействиям – преимущество, которого лишены традиционные магнитные домены. Это гарантирует высокую надежность хранения и отсутствие потерь данных.
- Скирмионы являются более «лёгкими» в управлении электрическим током.

Среди других возможных применений магнитных скирмионов: нейроморфные вычисления, логические и вычислительные устройства и др. По данным причинам, задача поиска материалов, в которых возможно зарождение магнитных скирмионов, а также способов их стабилизации, имеет высокую научно-практическую значимость. Существуют различные способы образования магнитных скирмионов: использование

материалов с взаимодействием Дзялошинского-Мория, мультислойных материалов, наноструктурирование и внедрение различного типа дефектов.

В диссертационном исследовании Ахметовой А. А. рассматриваются проблемы зарождения и устойчивости магнитных вихреподобных неоднородностей – нетопологических солитонов и скирмионов, которые образуются на колумнарных (цилиндрической формы) дефектах в одноосных ферромагнитных пленках. Использование дефектов как центров образования скирмионов имеет ряд неоспоримых достоинств, ключевое из которых связано с возможностью использования обычных магнитных материалов, не требующих наличия взаимодействия Дзялошинского-Мория или использования мультислоев. Поэтому проведенное диссертационное исследование, несомненно, представляет научный интерес и имеет потенциал их практического применения.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения из списка цитируемой литературы, включающего в себя 202 источника. Объем диссертации составляет 124 страницы, включая 46 рисунков.

Вводная часть содержит обоснование актуальности исследования, а также его цели и задачи; представлены основные защищаемые положения и новизна научных результатов.

Первая глава является обзорной и содержит информацию о параметрах, характеризующих магнитные вихри и скирмионы, кратко описана история их исследования, рассмотрены основные потенциальные применения скирмионов в практических целях. Также в первой главе кратко описываются результаты исследований по влиянию дефектов (дефектов, представляющих собой области с измененными материальными параметрами, антидотов и массивов антидотов) на профили намагниченности и петли гистерезиса.

Вторая глава содержит непосредственно результаты проведенных численных расчетов по распределению намагниченности на колумнарных дефектах в ферромагнитных пленках, исследование влияния параметров дефекта (радиуса дефекта и его материальных параметров) на профили образующихся вихреподобных неоднородностей и скирмионов, определение их радиусов и энергии, а также областей устойчивости.

Третья глава содержит результаты исследования воздействия внешнего магнитного поля для двух направлений: перпендикулярно направленного к поверхности пленке и в плоскости пленке, на профили распределения намагниченности, радиусы кóров (центральная область, в которой разворот вектора намагниченности происходит наиболее интенсивным образом) и энергии, получены диаграммы области существования вихреподобных образований в переменных устойчивости в переменных «фактор качества – магнитное поле». Также приведены результаты микромагнитного моделирования, выполненного в пакете OOMMF.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

Обоснованность и достоверность основных выводов и положений

Основные положения и выводы диссертационной работы являются обоснованными, поскольку базируются на многократно проверенных теоретических моделях с применением стандартно применяемого феноменологического подхода и расчетами, выполненными в пакете микромагнитного моделирования OOMMF.

Публикации по теме диссертации

Результаты диссертационной работы опубликованы в 7 научных статьях в журналах, включенных ВАК, а также журналах индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science.

Новизна исследований и полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертационного исследования состоит в получении новых результатов, наибольший интерес из которых представляют следующие:

1. Установлено, что на колумнарных дефектах в ферромагнитных пленках при определенных условиях, способны зарождаться 2 типа вихреподобных неоднородностей: нетопологические солитоны и скирмионы. С помощью численных расчетов были определены их геометрические параметры (радиусы вихреподобных неоднородностей и радиусы κ ов), посчитана их энергия. Было получено, что в первую очередь на топологию вихреподобных неоднородностей влияет величина константы магнитной кристаллографической анизотропии на дефекте.
2. Определены области устойчивости нетопологических солитонов и скирмионов. Установлены критические значения радиуса дефекта и фактора качества, ниже которых эти неоднородности не образуются.
3. Исследовано влияние внешнего магнитного поля для двух направлений на профили намагниченности в вихреподобных неоднородностях, получены их диаграммы устойчивости.

Научная значимость полученных автором диссертации результатов

Научная значимость заключается в том, что теоретически была показана возможность стабилизации магнитных скирмионов в некиральных материалах за счет внедрения в них дефекта, определены энергии и радиусы скирмионов, а также изучено поведение магнитных скирмионов в случае наличия внешнего магнитного поля. Практическая ценность связана с тем, полученные результаты могут найти применение в разработке устройств памяти нового типа.

Замечания по работе

1. Расчеты, проведенные в диссертации, показывают, что важную роль играет параметр качества материала Q . Необходимо более подробно пояснить физический смысл этого параметра. От каких факторов зависит его значение? Каковы характерные значения параметра Q для реальных материалов?
2. На рисунке 2.8 магнитная составляющая m_z на определенных промежутках изменяет знак на противоположный, а затем возвращается к первоначальному значению. Необходимо пояснить физическую природу такого эффекта. Существует ли значение Q , при котором область отрицательных значений отсутствует?
3. В главе 3 все расчеты выполнены для относительных единиц напряженности магнитного поля. Можно ли дать оценку критических значений напряженности магнитного поля h_{c1} и h_{c2} в реальных единицах?
4. На рисунке 3.12 представлена фазовая диаграмма существования вихреподобных образований в переменных Q - h . В тексте утверждается, что область II является метастабильной. Что вкладывается в термин «метастабильный»? На основании каких показателей делается вывод о метастабильности?

Заключение

Однако, следует отметить, что приведенные замечания не снижают теоретической и практической значимости результатов, полученных в диссертационном исследовании. Поэтому, диссертация Ахметовой А. А. «Устойчивые состояния вихреподобных неоднородностей в одноосных ферромагнитных пленках с модулированными

материальными параметрами» может расцениваться как работа, соответствующая требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 18.03.2023 г), а ее автор – Ахметова Айгуль Альфредовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Физика» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет».

31 августа 2026 г. протокол №1

Заведующий кафедрой «Физика», д.т.н.,
доцент

 Олег Витальевич Кропотин

Профессор кафедры «Физика», д.ф.-м.н.,
профессор

 Сергей Викторович Белим

Почтовый адрес:

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Омский государственный
технический университет»

644050, Омская область, г. Омск,

пр. Мира, д. 11

Тел.: ++7 (3812) 65-34-07

Адрес электронной почты: info@omgtu.ru

Адрес официального сайта в сети

«Интернет»: <https://www.omgtu.ru/>

Подписи О.В. Кропотина и С.В. Белима заверяю.

Ученый секретарь ФГАОУ ВО ОмГТУ Немцова А.Ф.

