

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Уфимский университет
науки и технологий»

профессор
фуллин

млбрия 2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

Диссертация «Структура и свойства вихреподобных неоднородностей в перфорированных пленках легкоплоскостных магнетиков с неоднородным магнитоэлектрическим взаимодействием» выполнена на кафедре теоретической физики физико-технического института Уфимского университета науки и технологий.

Соискатель Магадеев Евгений Борисович в 2007 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный университет» по специальности «Физика». В 2012 году решением диссертационного совета при Челябинском государственном университете ему была присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика» по результатам защиты диссертации «Структура и свойства магнитных неоднородностей уединенного типа в реальных кристаллах». В период подготовки диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук и по настоящее время является старшим научным сотрудником лаборатории «Дизайна новых материалов» Уфимского университета науки и технологий.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Вахитов Роберт Миннисламович работает на должности заведующего кафедрой теоретической физики физико-технического института Уфимского университета науки и технологий.

По итогам обсуждения диссертационной работы «Структура и свойства вихреподобных неоднородностей в перфорированных пленках легкоплоскостных

магнетиков с неоднородным магнитоэлектрическим взаимодействием» принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы:

Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, актуальность которой обусловлена следующим.

Известно, что на сегодняшний день полупроводниковая электроника практически исчерпала свой ресурс к развитию на качественном уровне. Тем не менее, рост требований к эксплуатационным характеристикам вычислительной техники сохраняет высокие темпы. Этим обусловлен запрос на разработку новых концепций функционирования нанoeлектроники, и одним из перспективных направлений решения данной задачи считается применение вихреподобных неоднородностей в магнитных пленках в качестве носителя информации. Несмотря на то, что некоторые подобные неоднородности (в частности, скирмионы) уже довольно основательно изучены, ряд важных с практической точки зрения вопросов, таких как стабильность и управляемость соответствующих магнитных структур, остается до сих пор не решенным до конца. Это обуславливает актуальность исследования новых типов вихреподобных объектов, в отношении которых указанные проблемы могут быть решены. Именно этой теме посвящена работа Е.Б. Магадеева, в которой рассматриваются топологически защищенные структуры, формирующиеся в перфорированных пленках ферромагнетиков с одноосной анизотропией типа «легкая плоскость», а также детально анализируются вопросы их устойчивости (в том числе и относительно паразитных факторов) и управляемости посредством внешних магнитных и электрических полей.

Объем и структура диссертации замечаний не вызывают. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы.

Личное участие автора в получении научных результатов, изложенных в диссертации:

Личный вклад автора в настоящее исследование являлся определяющим и заключался в выборе темы исследования, разработке основных концепций, выборе теоретических моделей, постановке задач и выборе способов их решения, а также непосредственно в решении этих задач аналитическими и численными методами. Также автор руководил численными расчетами в пакете OOMMF, выполненными Канбековым Р.Р. для его кандидатской диссертации. Все опубликованные работы написаны диссертантом лично.

Новизна проведенных соискателем исследований:

На основании теоретических исследований получены следующие результаты:

- 1) Рассчитано распределение намагниченности в перфорированных пленках планарных магнетиков, отвечающее различным состояниям вихреподобных объектов, установлены характеризующие их топологические инварианты и вычислены значения энергии системы в зависимости от состояния, в котором она находится.
- 2) Доказано, что неоднородные структуры предлагаемого типа могут наблюдаться в планарных ферромагнетиках при наличии в образце как сквозных перфораций (антидотов), так и дефектов той же геометрии, в области которых анизотропия материала является пониженной, а также детально изучены особенности объектов, формирующихся в образце в каждом из указанных случаев.
- 3) Выявлены количественные соотношения между геометрическими и материальными параметрами образца, при выполнении которых существование долгоживущих вихреподобных неоднородностей становится принципиально возможным.
- 4) Разработаны методы вычисления размагничивающих полей, создаваемых неоднородными структурами при условии отсутствия выхода вектора намагниченности из плоскости образца, на основе чего изучены эффекты трансформации и стабилизации магнитных объектов, обусловленные влиянием этих полей.
- 5) Рассмотрены различные аспекты взаимодействия вихреподобных объектов в легкоплоскостных магнетиках с внешним магнитным полем, вследствие чего, установлены подходы к управлению состоянием троичной ячейки памяти с помощью электрических токов.
- 6) Выявлены условия зарождения уединенных магнитных неоднородностей в односвязных пленках планарных магнетиков под воздействием внешнего электрического поля.
- 7) Изучены динамические свойства ДГ в планарных магнетиках в присутствии неоднородного электрического поля и установлены ключевые различия между случаем планарных магнетиков и общим случаем.
- 8) Исследованы структура и устойчивость магнитных объектов различной топологии в легкоплоскостных ферромагнитных пленках с неоднородным магнитоэлектрическим взаимодействием (НМЭВ) при наличии в них одной сквозной перфорации.
- 9) Развита методика изучения магнитных структур, формирующихся в пленках планарных ферромагнетиков с изотропным НМЭВ, благодаря чему, в частности, доказана возможность эффективного управления топологией магнитной структуры (а значит, и состоянием троичной ячейки памяти) в такой пленке с помощью внешнего электрического поля.

Практическая значимость результатов выполненных соискателем исследований:

В практическом отношении полученные результаты формируют теоретический фундамент для разработки запоминающих устройств, в которых цифровые данные представляются в троичной системе счисления. Проведенные исследования исчерпывающим образом охватывают различные аспекты записи информации в троичную ячейку памяти, энергонезависимого хранения такой информации, а также ее считывания. Вследствие наноразмеров вихреподобных объектов, используемых для кодирования данных в предлагаемых устройствах, достижимая в них плотность записи может значительно превзойти соответствующие характеристики аналогов, применяемых на сегодняшний день.

Достоверность результатов, проведенных соискателем исследований, обеспечена использованием известных, апробированных и хорошо зарекомендовавших себя подходов. В частности, большинство аналитических расчетов было выполнено на основе феноменологического подхода, в рамках которого энергия магнитной подсистемы представляется в виде суммы вкладов от отдельных взаимодействий. Вид слагаемых, отвечающих рассмотренным взаимодействиям, почерпнут из общепризнанных литературных источников и неоднократно использовался ранее другими исследователями для получения теоретических результатов, находящихся в хорошем соответствии с экспериментальными данными. Для численных расчетов применялись известные вычислительные алгоритмы и апробированные модели (феноменологический подход, модель Гейзенберга). Кроме того, многие результаты были подтверждены и дополнены расчетами в пакете микромагнитного моделирования OOMMF и программной оболочки Ubermag, которые широко применяются в исследованиях, относящихся к микромагнитным тематикам.

Ценность научных работ соискателя ученой степени:

Научные положения и выводы, приводимые автором диссертации, существенно расширяют представления о структуре и свойствах вихреподобных неоднородностей, зарождающихся в окрестностях перфораций ферромагнитной плёнки легкоплоскостного магнетика, а также о влиянии различных магнитных, электрических и геометрических параметров, неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия, внешних магнитных и размагничивающих полей, на устойчивость таких структур.

Научная специальность, которой соответствует диссертация:

Поскольку в диссертационной работе рассмотрены статические и динамические свойства вихреподобных магнитных неоднородностей, образующихся в области перфораций в тонкой ферромагнитной плёнке легкоплоскостного магнетика, изучено влияние на них магнитного, электрического и размагничивающих полей, проведен анализ области их устойчивости и возможных их трансформаций, то обоснованно можно утверждать, что работа соответствует специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени:

Основные результаты работы обсуждались на многочисленных научных конференциях, на региональных и международных школах-семинарах, также опубликованы в 23 статьях в журналах, входящих в список ВАК (в том числе 17 статей в журналах квартиля не ниже Q2) и наукометрических баз данных Web of Science и Scopus.

Диссертация «Структура и свойства вихреподобных неоднородностей в перфорированных пленках легкоплоскостных магнетиков с неоднородным магнитоэлектрическим взаимодействием» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании кафедры теоретической физики физико-технического института Уфимского университета науки и технологий.

Присутствовало на заседании кафедры 12 человек, в том числе 4 доктора наук, результаты голосования: «за» - 12, «против» - 0, «воздержалось» - 0, протокол № 1 от 28 августа 2025 г.

Заместитель заведующего кафедрой теоретической физики,
кандидат физико-математических наук,

 Харисов Анвар Тафкильевич

Секретарь заседания

 Кабанов Даниил Константинович



 Харисов А.Т., Кабанов Д.К.
от «08» 09 2025 г.
Директор общего отдела УИИТ
