



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ДАГЕСТАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК


367000, г. Махачкала ул. М.Гаджиева 45. Тел.: (8722) 67-06-20, 67-49-65
факс: (8722) 67-49-65, e-mail: dncran@mail.ru, <http://www.dncran.ru>

№ 17200-1484/a

« 21 » 11 20 24 г.

«Утверждаю»

Директор ФГБУН Дагестанский
федеральный исследовательский
центр, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.,
профессор


А.К. Муртазаев
« 21 » ноября 2024г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Канбекова Раушана Руслановича

на тему: «Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур, образующихся в окрестности антидотов в легкоплоскостных магнитных пленках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научным специальностям 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника, 1.3.3. Теоретическая физика

Актуальность темы диссертационного исследования

Одним из важнейших направлений в физике магнетизма является исследование вихреподобных магнитных неоднородностей, которые обладают топологической защищённостью, наномасштабными размерами, высокой подвижностью и другими спин-волновыми свойствами, что говорит о их высоком потенциале быть применёнными в различных устройствах спинтроники и магнитной памяти нового поколения. Среди них наиболее вероятными кандидатами на роль носителя информации считаются магнитные скирмионы, которые образуют устойчивые структуры в киральных магнетиках, характеризующиеся наличием в них взаимодействие Дзялошинского-Мория. Однако согласно многочисленным экспериментальным исследованиям на такие материалы накладываются ряд ограничений, что не позволяет их использовать в практических целях в широком диапазоне температур и при малых толщинах пленок.

В результате появились альтернативные способы стабилизации скирмионов в некиральных магнетиках, в которых бы отсутствовали такие ограничения. Одним из

ВХОД. № 4988-12
« 05 » 12 2024 г.

подобных методов записи и обработки информации, в которых основную роль играли бы вихреподобные неоднородности рассмотрены в диссертационной работе Канбекова Р.Р. В его основе лежит новый вид нанообъектов вихревого типа, локализующиеся на парных отверстиях цилиндрической формы в перфорированных магнитных пленках при наличии в них сильной одноосной анизотропии типа «легкая плоскость». Основными достоинствами таких неоднородностей являются их образование в плоскости пленки, а также способность принимать одно из трех эквивалентных состояний, что в теории может быть представлена как троичная ячейка памяти, которая обеспечивает ряд преимуществ перед распространенной бинарной логикой. Поэтому изучение различных аспектов этого способа записи информации представляется достаточно серьезной и актуальной задачей.

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы из 98 наименований. Объем диссертации составляет 154 страниц, включая 38 рисунков и 2 таблицы.

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу работ, в которых исследуются структура, свойства, а также возможные применения вихреподобных неоднородностей (скирмионы, бимероны, цилиндрические магнитные домены, вихри и т.д.), а также приведен список различных пакетов программ открытого доступа для микромагнитного моделирования этих неоднородностей.

Во второй главе приведены исследования влияния размагничивающих полей пленок на устойчивость вихреподобных структур, локализующихся в окрестности перфораций. Приведены распределения намагниченности структур, возникающих в пленках с 2 и 4 отверстиями.

Третья глава посвящена вычислению предельных значений констант анизотропии, ниже которых неоднородные магнитные структуры не образуются вокруг перфораций. Приведены ферромагнитные материалы, имеющие при комнатной температуре достаточную анизотропию для стабилизации вихреподобных неоднородностей вокруг наноразмерных отверстий.

В четвертой главе рассматривается альтернативный метод формирования вихреподобных магнитных структур, посредством локализации этих структур вокруг дефектов, представляющих область с другой величиной константой одноосной анизотропией. Такой метод формирования по своим проявлениям эквивалентен антидотам.

Пятая глава посвящена исследованию возможности замены легкоплоскостных магнетиков с кристаллической анизотропией типа легкой плоскости на пленки пермаллоя, в которой отсутствует анизотропия, однако размагничивающие поля создают анизотропию формы эквивалентную кристаллической. Приведены оценки размеров отверстий в пленках

пермаллоя, которых достаточно для локализации в окрестности них наномасштабных вихреподобных структур.

В шестой главе исследуется влияние внешнего магнитного поля на устойчивость магнитных структур, возникающих в окрестности антидотов. Показано влияние магнитного поля, направленного перпендикулярно плоскости пленки на распределение намагниченности в исследуемых вихреподобных структурах, а также найдены критические значения внешних полей, выше которых эти структуры разрушаются.

В седьмой главе диссертационной работы рассмотрено влияние температурных колебаний среды на устойчивость вихреподобных неоднородностей, формирующихся вокруг отверстий. Рассчитаны времена жизни микромагнитных структур относительно изменения величины температуры, а также исследованы сценарии разрушения микромагнитных структур под действием тепловых флуктуаций.

Основные выводы, обладающие научной и практической значимостью, по мнению специалистов ведущей организации, следующие:

- Влияния размагничивающих полей усиливает устойчивость вихреподобных структур, локализуемых вокруг отверстий в достаточно широком интервале изменения температур.
- Установлено, что величина константы анизотропии K , при которой плоская магнитная структура является устойчивой, зависит от размера перфораций. Найдены конкретные типы магнитных материалов, в которых рабочий диапазон изменения температур, согласуются с пороговыми значениями константы анизотропии.
- Доказано утверждение об эквивалентности подходов к исследованию двух типов материалов, а именно все статические свойства магнитных структур, которые наблюдаются в пленках, содержащих антидоты, сохраняются и в пленках с искусственно созданными дефектами.
- Выявлено что, в перфорированных пленках пермаллоя в которой отсутствует кристаллическая анизотропия также могут формироваться наноразмерные вихреподобные структуры за счет анизотропией формы.
- Найдены критические значения напряженности внешнего поля, ниже которых еще могут существовать устойчивые вихреподобные неоднородности. Они зависят от анизотропии пленки; с ее повышением можно увеличить границы устойчивости структур.
- Большие тепловые флуктуации приводят к разрушению топологически защищенных структур, преимущественно изменяя его топологический заряд на 1 в сторону состояний с меньшей энергией.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационных исследований

Обоснованность результатов диссертационных исследований соответствуют общепринятой в рамках научных специальностей 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника и 1.3.3. Теоретическая физика. Результаты, полученные в ходе диссертационных исследований, имеют высокую степень достоверности, так как они, полученные двумя способами (аналитическими и численными расчетами), согласуются между собой и не противоречат известным физическим закономерностям. Результаты проведенных исследований опубликованы в ряде ведущих отечественных и зарубежных высокорейтинговых научных журналах. Материалы диссертационных исследований успешно представлены на российских и международных конференциях. Все это свидетельствует о достаточной апробации проведенных исследований.

Значимость результатов диссертационных исследований автора для развития науки и технологий

Научное значение исследований, проведенных в диссертационной работе, состоит в развитии математического аппарата анализа микромагнитных структур, возникающих в магнитных пленках, содержащих перфорации. Получены новые знания о возможных типах вихреподобных неоднородностей, локализующих вокруг отверстий в легкоплоткостных пленках, которые могут быть использованы при проектировании вычислительных устройств хранения и обработки информации в троичной системе исчисления.

Также данные исследований, полученных автором диссертации, могут быть использованы в академических научных и научно-исследовательских организациях: Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Институт физики ФИЦ КНЦ Сибирского отделения Российской академии наук, МГУ имени Ломоносова, Институт физики микроструктур РАН при проведении исследований микромагнитных структур различной топологии, возникающих в тонких и ультратонких пленках с пространственно-модулированными параметрами. Результаты исследования также могут быть использованы в образовательном процессе при подготовке магистров и аспирантов по направлениям подготовки, связанным с физикой и теплофизикой в таких высших учебных заведениях, как Дальневосточный федеральный университет, Уфимский университет науки и технологий, Челябинский государственный университет.

Апробация работы

Результаты диссертационной работы прошли достаточную апробацию и обсуждались на 6 международных и всероссийских научно-практических конференциях, в частности, на VIII Euro-Asian Symposium “Trends in Magnetism” (EASTMAG), Казань, 2022, XIII и XIV Международная школа-конференция «Фундаментальная математика и её приложения в естествознании», (г. Уфа, 2022, 2023), Международная конференция «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», посвященная 300-летию Российской Академии Наук, (г. Махачкала, 2023), 5-й Международный научный Семинар "Дни калорики в Башкортостане: функциональные материалы и их приложения", (с. Новоабзаково РБ, 2024). Результаты исследований опубликованы в открытой печати, имеется 7 статей в изданиях, входящих в международные базы данных (Web of Science, Scopus). Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие паспорту специальности

Основные положения, выносимые на защиту, соответствуют пункту 1. Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах; 2. Исследование и разработка рекомендаций по повышению качества и улучшению теплофизических свойств веществ в жидком, твердом (кристаллическом и аморфном) состояниях для последующего использования в народном хозяйстве; 8. Численное и натурное моделирование теплофизических процессов в природе, технике и эксперименте, расчет и проектирование нового теплотехнического оборудования (физико-математические науки) паспорта научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника, а также пунктам 5. Теория конденсированного состояния. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика. Теория фазовых переходов. Физическая кинетика; 8. Решеточные модели теории поля. Моделирование физических процессов на решетке; 9. Разработка теории мезоскопических систем (физико-математические науки) паспорта научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Замечания по диссертационной работе

1. В первом утверждении заключения говорится о том, что размагничивающие поля усиливают устойчивость в достаточно широком интервале изменения температур. В каких конкретно диапазоне температур?
2. Во втором пункте заключений говорится о радиусе кривизны пленки, что понимается под ним?

3. В программном пакете OOMMF не заложена температура. Как учитывалось в этом случае влияние температуры на систему при микромагнитном моделировании?
4. В шестой главе рассмотрены влияние внешнего магнитного поля на рассматриваемые структуры, и говорится что найдены критические значения поля выше которых эти структуры разрушаются. Исследовались ли в какие структуры они трансформируются при превышении критического поля?
5. В седьмой главе говорится о вычислении времен жизни вихреподобных состояний, используя алгоритм Метрополиса, что является не совсем корректным. В алгоритме Метрополиса не заложено время, его там нет. Что в диссертации подразумевается под термином «время жизни» в данном случае?
6. Имеются также замечания технического характера (убегают подписи к рисункам), грамматические и синтаксические ошибки в предложениях. В диссертационной работе 7 глав, что слишком много. Некоторые главы объемом не более 10 страниц. Возможно стоило объединить некоторые главы в одну главу.

Приведенные замечания не снижают ценности и общего положительного впечатления о диссертационной работе Р.Р. Канбекова «Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур, образующихся в окрестности антидотов в легкоплоскостных магнитных пленках».

Заключение по диссертационной работе

Автореферат написан качественным научным языком и в полной мере отражает основные положения диссертационной работы. Диссертационное исследование Раушана Руслановича Канбекова, представленное на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является законченным и представляет собой цельную научную работу. Полученные в работе результаты физически не противоречивы и обоснованы, обладают научной новизной, имеют несомненную теоретическую и практическую значимость. Результаты исследований могут быть применимы для проектирования вычислительных устройств на магнитной основе. По теме диссертационных исследований опубликовано 7 научных работ в ведущих российских и зарубежных журналах, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, что не вызывает сомнений в квалификации автора и качестве проведенных исследований.

Вышесказанное позволяет сделать вывод, что диссертационная работа Р.Р. Канбекова является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей критериям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее

автор, Канбеков Раушан Русланович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научным специальностям 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника и 1.3.3. Теоретическая физика.

Доклад Канбекова Р.Р. по диссертационной работе заслушан и обсужден на научном семинаре Института физики им. Х.И.Амирханова – обособленного подразделения ФГБУН ДФИЦ РАН "21" ноября 2024 г., а отзыв рассмотрен и одобрен на этом же научном семинаре, Протокол № 3 от "21" ноября 2024 г.

Отзыв подготовил:

Руководитель Института физики
им. Х.И.Амирханова – обособленного
подразделения ФГБУН ДФИЦ РАН, к.ф.-м.н.

Хизриев Камал Шахбанович

Почтовый адрес:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дагестанский федеральный
исследовательский центр Российской академии наук

367000, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М.Гаджиева, 45.

Тел.: +7 (872) 267-0620, +7 (872) 267-0611

Адрес электронной почты: dncran@mail.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.dncran.ru/>

Подпись заверил:

Главный ученый секретарь
ДФИЦ РАН, к.ф.-м.н.

Ибаев Жавраил Гаджиевич

