

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.479.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И  
ТЕХНОЛОГИЙ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 24.12.2024 г. № 14

О присуждении Канбекову Раушану Руслановичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур, образующихся в окрестности антидотов в легкоплоскостных магнитных пленках» по научным специальностям 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника и 1.3.3. Теоретическая физика принята к защите 23 октября 2024 года, протокол заседания № 11, диссертационным советом 24.2.479.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32. Приказ Минобрнауки о создании диссертационного совета № 518/нк от 24.03.2023 г.

Соискатель Канбеков Раушан Русланович 13 мая 1997 года рождения. В 2021 году окончил ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика с присвоением квалификации Магистр.

Справки со сведениями о сданных кандидатских экзаменах выданы федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» в 2024 г.

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории «Дизайн новых материалов» физико-технического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре теоретической физики физико-технического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Вахитов Роберт Миннисламович, заведующий кафедрой теоретической физики физико-технического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Официальные оппоненты:

1. **Белим Сергей Викторович**, доктор физико-математических наук (01.04.02 – Теоретическая физика), профессор, профессор кафедры «Физика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет»;

2. **Каманцев Александр Павлович**, кандидат физико-математических наук (1.3.8. Физика конденсированного состояния), старший научный сотрудник лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Махачкала, в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом физико-математических наук (01.04.07 – Физика конденсированного состояния), руководителем Института физики им. Х.И. Амирханова – обособленного подразделения ФГБУН ДФИЦ РАН Хизриевым Камалом Шахбановичем и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором, директором ФГБУН Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН Муртазаевым Акаем Курбановичем, указала, что диссертация Канбекова Раушана Руслановича, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, 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. Автореферат написан качественным научным языком и в полной мере отражает основные положения диссертационной работы. Диссертация 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.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, все в изданиях, входящих в международные базы данных (Scopus). Общий объем публикаций 4,6 п.л. (авторский вклад – 1,7 п.л.).

Научные работы по теме диссертации:

1. Магадеев Е.Б., Теория вихреподобных структур в перфорированных магнитных пленках с учетом размагничивающих полей. / Магадеев Е.Б., Вахитов Р.М., Канбеков Р.Р. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2022. – Т. 162, № 3(9). – С. 417-425.

2. Магадеев Е.Б., Особенности формирования плоских неоднородных структур в наноразмерных магнитных пленках. / Магадеев Е.Б., Вахитов Р.М., Канбеков Р.Р. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2023. – Т. 163(1). – С. 78-86.

3. Magadeev E.B., Stability of nontrivial magnetic structures in ferromagnetic films with antidots. / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2023. – Vol. 35. – 015802.

4. Magadeev E.B., Vortex-like nano-objects in perforated permalloy films. / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Europhysics Letters. – 2023. – Vol. 142(2). – 26001.

5. Magadeev E.B., Two methods of forming flat magnetic structures in magnetic films with topological features. / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2023. – Vol. 35(21). – 215801.

6. Magadeev E.B., Impact of an external magnetic field on vortex-like magnetic structures in perforated films / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Physica B: Condensed Matter. – 2024. – Vol. 690. – 416136.

7. Magadeev E.B., Features of magnetic structures in perforated films due to the finite thickness of the sample. / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Journal of Physics: Condensed Matter – 2024. – Vol. 36(42). – 425802.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**1. Ведущей организации** – федерального государственного бюджетного учреждения науки Дагестанский федеральный

исследовательский центр Российской академии наук, г. Махачкала. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 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.

**2. Официального оппонента**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры «Физика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» Белима Сергея Викторовича. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Во второй главе приведены два подхода к описанию вихреподобных структур, формирующихся вокруг антидотов – аналитический и основанный на микромагнитном моделировании.

Необходимо пояснить, что нового вносит микромагнитное моделирование. Какие дополнительные поправки к аналитическому решению оно привносит? Каков порядок этих поправок? 2) В третьей главе влияние температуры принимается во внимание только в контексте изменения констант анизотропии реальных материалов. Однако хорошо известно, что повышение температуры влияет также на намагниченность пленки и приводит к переходу в парамагнитную фазу выше точки Кюри. Можно ли с помощью предложенных в этой главе методов учесть данное влияние температуры? 3) В диссертации для решения нескольких задач используется один и тот же подход. Сначала рассматривается аналитическое решение для случая большого расстояния между дефектами или антидотами, а затем происходит переход к случаю расстояния между дефектами равному или меньшему их размера. При малых расстояниях обнаруживаются новые явления. Может ли используемый подход дать оценку граничного расстояния между дефектами, когда начинают проявляться эффекты близости? В каком случае это расстояние можно считать малым, а когда большим для конкретных материалов? 4) При моделировании методом Монте-Карло учитывается взаимодействие только между спинами в линейной цепочке, образующей скирмион и не учитывается взаимодействие с окружающими спинами, которые могут стабилизировать вихреподобную структуру или наоборот разрушать ее.

**3. Официального оппонента**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук Каманцева Александра Павловича. Отзыв положительный.

Имеются вопросы и замечания: 1) В работе приведено малое количество примеров магнитных материалов, в которых вихревые структуры могут формироваться. 2) В работе не приведены примеры скриптов по проведенным

вычислениям в пакетах микромагнитного моделирования OOMMF и Ubermag.

3) В работе недостаточно подробно освещены потенциальные возможности применения изучаемых вихреподобных неоднородностей. 4) Непонятно почему соискатель исследовал влияние размагничивающих полей на вихревые структуры, если и так вполне очевидно, что они усиливают их устойчивость. 5) В работе присутствуют опечатки и пунктуационные ошибки, например на стр. 42 в слове «неоднородностей» пропущена вторая буква «д».

4. Кандидата физико-математических наук, заведующего кафедрой экспериментальной физики и инновационных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» **Орлова Виталия Александровича**. Отзыв положительный. Вопросов и замечаний нет.

5. Кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Института естественных наук и математики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» **Памятных Лидии Алексеевны**. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) На рис. 3 главы 3 приведены экспериментальные зависимости констант магнитной анизотропии  $K_1$  и  $K_2$  от температуры для соединений  $\text{NdCO}_5$  и  $\text{PrCO}_5$ . Не дана ссылка на работу, из которой взяты эти зависимости. 2) Не введена константа анизотропии  $K_{\min}$ , для которой «предложены возможные способы вычислений предельных значений» (глава 3).

6. Доктора физико-математических наук, профессора кафедры физики и математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» **Чжана Анатолия Владимировича**. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Неясно, к чему относится последняя фраза в предложении «Получена зависимость энергии размагничивающих полей  $E_s$

исследованных систем от расстояния между антидотами а при значениях  $M_s$  в диапазоне  $10^5$ - $2 \cdot 10^6$  А/м, из которых следует, что их вклад лишь усиливает устойчивость этих структур» (стр. 9). 2) Не указана размерность константы неоднородного обмена А (стр. 12). 3) Непонятно, что означает фраза «более структура» в предложении «В качестве модели вихреподобной неоднородности рассматривались более структура в виде замкнутой линейной цепочки, состоящая из n спинов» (стр. 15). 4) При описании рис. 3 (стр. 11) указано, что «данные приведены для случая  $T=0$  К», в то время на этом рисунке приведены температурные зависимости констант анизотропии в широкой области температур.

7. Кандидата физико-математических наук, доцента кафедры магнетизма физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» **Шапаевой Татьяны Борисовны**. Отзыв положительный.

Имеются замечания: 1) Автор рассмотрел сравнительно малое количество реальных магнетиков, в которых могут быть реализованы исследуемые вихреподобные неоднородности. 2) В работе не были исследованы диапазоны температур, при которых размагничивающие поля обеспечивают устойчивость вихреподобных неоднородностей. 3) На стр. 9 автореферата автор пишет, что «при определенных материальных параметрах вокруг перфорации локализуются метастабильные вихреподобные магнитные структуры трех типов ...», в одном из которых намагниченность однородна. Однако на рис. 1 приведены только два типа вихреподобной магнитной структуры, ни в одном из них однородного распределения намагниченности нет. 4) На рис. 2 есть точки  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $F_1$  и  $F_2$ , однако в тексте и в подписи к рисунку автор про них ничего не пишет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой профессиональной квалификацией, наличием публикаций по проблематике, связанной с темой диссертации, компетенцией



в вопросах, имеющих отношение к теме работы. Ведущая организация и оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработано:**

- алгоритмы моделирования структуры вихреподобных неоднородностей в перфорированных магнитных пленках, а также методы количественной оценки материальных параметров пленок пригодных для использования в качестве носителя информации нового поколения;

**показано:**

- что тепловые флуктуации могут приводить к разрушению топологически защищенных структур, преимущественно переводя их в состояния с более низкой энергией, однако не обязательно в основное для системы состояние.

**предложено:**

- методика создания троичной ячейки памяти на основе пары близкорасположенных перфораций в магнитной пленке;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**установлен** новый тип топологически защищенных наноразмерных объектов в магнитных пленках;

**изучены** условия формирования и устойчивости вихреподобных структур в перфорированных пленках легкоплоскостных магнетиков при комнатной температуре.

Значимость диссертационного исследования для науки определяется следующим:

**развит** математический аппарат анализа микромагнитных структур, возникающих в магнитных пленках, содержащих перфорации.

**получены** новые знания о возможных типах вихреподобных неоднородностей, локализуемых вокруг отверстий в легкоплоскостных пленках, которые могут быть использованы при проектировании

вычислительных устройств хранения и обработки информации в троичной системе исчисления.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**предложены** походы к локализации и стабилизации наноразмерных вихреподобных объектов в магнитных пленках

**показано**, что вихреподобные объекты локализуемых на парных перфорациях ферромагнитных пленках могут быть использованы в качестве ячеек памяти

**разработаны** практические рекомендации по выбору магнитных материалов пригодных для создания носителя информации нового поколения основанных на перфорированных легкоплоскостных магнитных пленках

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**идея** формирования вихреподобных неоднородностей нового типа базируется на фундаментальном свойстве ферромагнитных материалов – спонтанному упорядочению спинов за счет обменного взаимодействия

**установлено** хорошее соответствие между результатами, которые были получены с использованием различных подходов, а именно, результаты численных расчетов подтверждают оценки, основанные на аналитических методах, а также картины явлений, описанные в рамках континуальной и дискретной моделей, находятся в согласии друг с другом

**Личный вклад** автора состоит в определении целей и формировании задач работы, выполнении численных моделирований и расчетов, в проведении тщательного анализа и обработку полученных результатов. Основная часть работы выполнена автором самостоятельно. Также автор принимал активное участие в подготовке публикаций и выступал на конференциях.

В ходе заседания было высказано критическое замечание о том, что в алгоритме Метрополиса не используется явное время, и о каком времени в этом случае идет речь в диссертации.

Соискатель Канбеков Р.Р. ответил, что согласен с замечанием, однако итерационные шаги в алгоритме линейные и их можно трактовать как время, вычисление размерности которого вызывает трудности.

На заседании 24.12.2024 г. диссертационный совет принял решение: за исследование структуры и свойств вихреподобных неоднородностей, возникающих в тонких магнитных плёнках с анизотропией типа «легкая плоскость», а также за анализ влияния температурных флуктуаций на их устойчивость, имеющего важное значение в проектировании вычислительных устройств на магнитной основе, присудить Канбекову Раушану Руслановичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки) и 3 доктора наук по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 3 человека, проголосовали: за – 15, против – 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

д.т.н., профессор



Рамазанов Айрат Шайхуллинович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

к.ф.-м.н.

Хабиров Тимур Раильевич

24 декабря 2024 г.