

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

**д.ф.-м.н., профессора Вахитова Р.М. на диссертационную работу Канбекова Раушана Руслановича на тему: «Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур в легкоплоскостных магнитных пленках с антидотами», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научным специальностям 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника и 1.3.3 Теоретическая физика.**

В последние два десятилетия наблюдается повышенный интерес к исследованиям вихреподобных магнитных неоднородностей, образующихся в определенном классе магнитных материалов, к которым относятся киральные магнетики, пермаллоевые пленки, магнитоодноосные пленки с пространственно модулированными параметрами и т.д. Подобные неоднородности обладают рядом уникальных свойств (топологическая защищенность, наномасштабные размеры, высокая подвижность, возможность управления ими с помощью токов и т.д.), что говорит о высоком потенциале их возможного использования в различных устройствах спинтроники, в том числе и в искусственных мероморфных сетях. Среди различных типов вихреподобных неоднородностей наиболее изученными и перспективными с точки зрения их технического использования (например, в качестве носителя информации в логических и запоминающих устройствах, построенных на единой платформе) являются магнитные скирмионы, которые стабилизируются в магнетиках с нецентросимметричной решеткой. Однако дальнейшие исследования показали, что существуют определенные ограничения, накладывающие на область возможных применения таких пленок. В результате появились альтернативные способы стабилизации скирмионов в некиральных магнетиках. Одной из таких перспективных концепций построения запоминающих устройств, в которых в качестве рабочей среды используются магнитные материалы является идея, предложенная на кафедре теоретической физики ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий». В ее основе лежат вихреподобные магнитные структуры, образующиеся в окрестности двух близкорасположенных антидотов в одноосной ферромагнитной пленке с анизотропией типа «легкая плоскость». Эти неоднородности (их всего три) различаются как по распределению, так и по энергии и являются метастабильными структурами. Однако, если вдоль одного из антидотов пропустить импульс тока, то один из них становится устойчивой структурой и реализуется в области антидотов. На этой основе можно построить элементы логики и памяти в троичной системе записи информации.

Перед Канбековым Р.Р. была поставлена задача исследования свойств микромагнитных структур, образующихся в рассматриваемых пленках, и изучения их устойчивости относительно внешних воздействий, а также изменений параметров материала, обусловленных температурными колебаниями среды. В ходе изучения нового материала, связанного с темой диссертации, ему пришлось «перелопатить» большое количество литературных источников, освоить новые знания, непривычные для него понятия, закономерности, новый математический аппарат, а также научиться проводить анализ результатов. При этом ему необходимо было сочетать аналитические исследования с численными расчетами, используя освоенные им пакеты программ открытого кода OOMMF. Тем не менее он со всеми имеющимися трудностями полностью справился и получил ряд новых и интересных результатов, среди которых можно отметить следующие:

1. Показано, что размагничивающие поля практически не влияют на устойчивость пленок вихреподобных структур, образующихся в окрестности двух антидотов в рассматриваемых пленках в широком диапазоне изменения температур, а лишь усиливают надежность функционирования устройств записи информации, основанных на этих структурах.

2. Найдено соотношение, позволяющее определить критические значения модуля константы легкоплоскостной анизотропии, выше которых вихреподобные структуры, возникающие в окрестности пары близко расположенных антидотов, были бы устойчивыми образованиями и имели бы наименьший размер. В свою очередь это позволяет определить диапазон температур, в области которой, выше рассмотренная система может устойчиво функционировать.

3. Доказана теорема об эквивалентности двух способов формирования плоских магнитных структур: в магнитных пленках с антидотами и в тех же пленках с колумнарными дефектами.

4. Показана возможность зарождения и существования устойчивых плоских магнитных неоднородностей в окрестности двух близлежащих отверстий в пермаллоевой пленке, приемлемых для записи информации в троичной системе исчисления.

5. Выявлен вклад зеемановского взаимодействия на распределение намагниченности и найдены критические значения напряженности магнитного поля, при превышении которых они разрушаются.

6. Рассчитано влияние тепловых флуктуаций на устойчивость топологически защищенных структур и показано, что они приводят к разрушению этих структур, переводя их в состояние с более низкой энергией. Определен доминирующий сценарий, согласно которому разрушение

метастабильного состояния происходит с изменением его топологического заряда на 1 в сторону состояний с меньшей энергией.

В ходе работы диссертант проделал большой объем исследований, результаты которых неоднократно докладывались им на семинарах кафедры, а также на различного рода региональных, российских и международных конференциях. Им совместно с коллегами опубликовано 7 статей, все из которых входят в международную базу данных Scopus. Полученные им результаты значительно расширяют наши представления о вихреподобных магнитных неоднородностях, которые являются топологически защищенными структурами и имеют реальные перспективы быть использованными в различных устройствах спинтроники.

Диссертация полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

В целом, Канбекова Р.Р. можно охарактеризовать как сформировавшегося научного работника, способного решать поставленные задачи, достойного присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научным специальностям 1.13.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника и 1.3.3. Теоретическая физика.

Научный руководитель доктор физико-математических наук (01.04.07 – Физика конденсированного состояния), профессор, профессор кафедры теоретической физики физико-технического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

Вахитов Роберт  
Миннисламович

«07» 06 2024 г.



Сейс Васеева Р.М  
Доверяю «07» 06 2024г.  
Начальника общего отдела УУНИТ Т.Шам  
Шиткибаева Т.Р.

Контакты:  
450076, г.Уфа, ул. Заки Валиди 32,  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский университет науки и технологий»,  
физико-технический институт, к. 210а, кафедра теоретической физики.  
Телефон: +7 (347) 273-93-25; E-mail: VakhitovRM@Yahoo.com