

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-**  
**математических наук Абдрахманова Данила Ирековича на тему:**  
**«Влияние дефектов на формирование скирмионных фаз в магнитных**  
**пленках»**  
**по специальности 1.3.3. Теоретическая физика**

Диссертация Абдрахманова Д.И. представляет собой актуальную исследовательскую работу в области теоретической физики, посвящённую изучению равновесного состояния систем со многими конфигурациями взаимодействий, а именно взаимодействием механизмов микромагнитных сил с образованием топологически сложных магнитных структур, таких как скирмионы и магнитные вихри. Современные экспериментальные данные подтверждают возможность наблюдения указанных топологических образований при комнатных температурах, что открывает перспективы их потенциального применения в области устройств динамической и статической магнитной памяти, а также в различных областях спинтроники. Вместе с тем актуальной остается проблема контроля процесса образования и уничтожения скирмионов в заданных локализациях внутри магнитных структур, что, согласно современным исследованиям, может быть реализовано посредством введения искусственных структурных дефектов.

В рамках диссертационной работы исследовано влияние структурных дефектов на формирование и статические свойства скирмионных фаз в магнитных нанопленках. Для этого успешно применён комплекс численных методов, позволивший выявить механизмы связи дефектов с магнитными конфигурациями и определить условия, при которых происходит локализация скирмионных состояний. Особое значение имеет анализ зависимости характеристик скирмионных структур от типа и параметров дефектов, что существенно расширяет научное понимание процессов, протекающих в нанометровых магнитных системах. Полученные результаты обладают потенциалом для разработки новых магнитных материалов с управляемыми топологическими свойствами.

Диссертация Абдрахманова Д.И. включает введение, три главы, заключение и список литературы. Общий объём диссертации составляет 100 страниц машинописного текста, включая 30 иллюстраций. В список цитируемых источников вошло 109 наименований.

Во введении изложена обоснованность актуальности темы диссертационного исследования. Определены цели и задачи работы, обоснована новизна и практическая важность проведённых исследований. Представлены основные научные положения, выносимые на защиту, а степень их разработки отражает современный уровень исследований в данной области.

В **первой главе** представлено описание численных методов, используемых для минимизации энергии основного состояния (метод наискорейшего спуска), а также метода Монте-Карло моделирования. В модели антиферромагнитного фрустрированного монослоя, расположенного на треугольной решетке, показано, что присутствие дефекта способствует повышению стабильности решетки скирмионов по отношению к изменениям внешнего магнитного поля. Результаты моделирования методом Монте-Карло подтверждают, что наличие дефекта увеличивает устойчивость скирмионной решетки к тепловым флуктуациям. При этом диаметр дефекта в диапазоне значений от 10 до 50 узлов решетки не оказывает существенного влияния на температуру фазового перехода.

Во **второй главе** диссертации с использованием метода наискорейшего спуска продемонстрировано, что поверхностный дефект в ферромагнитном бислое способствует формированию скирмионной фазы при определённых значениях взаимодействия Дзялошинского-Мория (ВДМ) и внешнего магнитного поля. В области за пределами дефекта вклад внешнего магнитного поля является фактором, подавляющим неоднородные магнитные образования; при этом устойчивость скирмионной фазы увеличивается внутри дефекта по сравнению с областями, расположенными вне дефекта. Ограниченная область решётки, окружающая дефект, создает

потенциальную энергетическую яму, что снижает влияние внешнего магнитного поля в этой зоне. Размеры дефекта влияют только на площадь области, в которой могут находиться скирмионные структуры.

В третьей главе диссертации исследована модель магнитоэлектрической пленки с дефектом в ферроэлектрическом слое. Показано, что в области под дефектом в ферромагнитной подсистеме формируются скирмионы при наличии однородного магнитоэлектрического эффекта. В случае неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия наиболее важным результатом является формирование скирмионов при нулевом внешнем магнитном поле, в области, ограниченной дефектом.

Достоверность полученных в диссертационной работе Абдрахманова Д.И. результатов обусловлена применением широко известных методов оптимизации энергии системы и классического метода Монте-Карло для моделирования.

Новизна и научная ценность представленных результатов подтверждаются опубликованными работами соискателя. По теме исследования опубликовано около 13 публикаций, из которых 7 входят в перечень рецензируемых научных журналов с высоким импакт-фактором.

Замечания по диссертационной работе

1. В §1.5, при описании метода Монте-Карло, указано, что для усреднения физических величин используется  $10^6$  итераций на спин после  $10^6$  шагов для релаксации системы. Для системы размером до  $1000 \times 1000$  узлов это означает общее число шагов моделирования порядка  $10^{12}$ , что является чрезвычайно ресурсоемкой задачей. Требуется уточнение: проводились ли расчеты для систем такого размера в полном объеме, или указанные числа итераций относятся к системам меньшего размера (например,  $80 \times 80$ )?
2. На рис. 1.3 отсутствует подпись к осям и легенда на самом рисунке, что затрудняет его восприятие без текста диссертации.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.3. Теоретическая физика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Абдрахманов Данил Ирекович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник лаборатории математического моделирования  
конденсированных сред Института физики им. Х.И. Амирханова  
–обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Дагестанского федерального исследовательского центра  
Российской академии наук

РАМАЗАНОВ Магомедшейх Курбанович

10.12.2025

Подпись сотрудника

ИФ ДФИЦ РАН М.К. Рамазанова удостоверяю:

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

10.12.2025

Ж.Г. Ибаев

Контактные данные:

Рамазанов Магомедшейх Курбанович, кандидат физ.-мат. наук

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Адрес: 367015, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М.Ярагского, 94, ИФ ДФИЦ РАН

Тел.: 7(928)5917453; e-mail: sheikh77@mail.ru