

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Шевцова Владислава Сергеевича
на тему: «Развитие теории коллективной самоорганизации и
взаимодействий в системах многих магнитных диполей и ее приложение
к элементам спинтроники»
по специальности 1.3.3. – «Теоретическая физика»

В представленной на отзыв диссертации Шевцова В.С. исследуются явления коллективной самоорганизации системы многих магнитных диполей, которые могут быть использованы (что продемонстрировано автором) для описания характеристик работы различных актуальных элементов спинтроники. При этом под системой многих магнитных диполей понимается микромагнитная структура тонких ферромагнитных пленок, а именно особенность распределения намагниченности в зависимости от параметров пленок и внешних условий.

Актуальность темы. Работа большинства элементов спинтроники основана на изменении их электрического сопротивления. Результирующее изменение этого сопротивления определяется в том числе особенностями распределения микромагнитных неоднородностей в рабочем элементе, который зачастую представляет собой тонкую магнитную пленку. Результаты численного моделирования, проведенного многими другими авторами (в основном с использованием готовых программных пакетов для микромагнитного моделирования) демонстрируют, что такие микромагнитные неоднородности могут иметь достаточно сложный вид. При этом механизм их перемагничивания определяется сложной динамикой таких структур. Автором диссертации исследованы особенности процессов перемагничивания и для ряда случаев получены аналитические модели, что представляет особую ценность.

Научная новизна и практическая значимость исследований. К наиболее заметным новым результатам, полученным в диссертации, можно отнести новый класс аналитических решений задачи о распределении плотности тока в проводнике косоугольной формы с произвольным углом и получение картин распределения

эквипотенциалей и линий тока в таком проводнике. Также было получено новое обобщенное уравнение Лапласа для среды с АМР эффектом и решено численно для различных параметров среды в области косоугольной пластины магниторезистивного элемента. Задачи, связанные с расчетом диполь-дипольного взаимодействия, успешно решенные в диссертации, имеют как фундаментальное, так и прикладное значение: проблема вычисления распределений намагниченности важна в связи с использованием в спиновой электронике рабочих элементов с неоднородным распределением намагниченности, а проблема магнитной локации – в контексте томографии и сенсорной техники.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Обоснованность и достоверность результатов, полученных в диссертации, обусловлена применением строгих аналитических преобразований (позволяющих осуществить непосредственную проверку) и использованием классических физических моделей и теорий. Результаты расчета микромагнитных структур проверялись в сравнении с известным программным пакетом для микромагнитного моделирования OOMMF, а также проводилось сравнение с экспериментальными картинками, полученными на современном высокоточном магнитно-силовом микроскопе. При этом экспериментальные результаты получены в неоднократно воспроизводимых экспериментах.

Краткая характеристика основного содержания работы. Диссертация В.С. Шевцова состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержащего 111 наименований, в том числе 12 работ автора по теме представленной диссертации, опубликованных в рецензируемых журналах из баз данных Scopus и Web of Science. Объем диссертации составляет 122 страницы.

Во **введении** дается обзор литературы по теме исследований, обоснована актуальность темы диссертации, формулируются цель работы и задачи, а также положения, выносимые на защиту. Указывается новизна полученных результатов, обосновывается теоретическая и практическая значимость работы, приводятся сведения об апробации.

Первая глава посвящена исследованию микромагнитной структуры тонких пленок состава FeNiCo с одноосной анизотропией. Автором была разработана одномерная теория неоднородности распределения вектора намагниченности, которая обусловлена

влиянием неоднородного размагничивающего поля. Равновесное распределение вектора намагниченности находилось как решение вариационной задачи на нахождение минимума полной магнитной энергии ферромагнетика. Получив это распределение, автором было рассчитано сопротивление образца с использованием теории для АМР эффекта и проведено сравнение с экспериментом.

Во **второй главе** автором проводится исследование особенностей протекания тока в различных актуальных элементах спинтроники, в том числе в датчиках со структурой типа “barber-pole”. При расчете характеристик устройства и дальнейшем сравнении с экспериментальными данными автором были использованы модели распределения намагниченности, описанные в первой главе. При исследовании протекания тока в образце были рассмотрены различные приближения, которые, в том числе, учитывают неоднородность распределения тока. С этой целью автором было получено новое обобщенное уравнение Лапласа, которое в последствии было решено численно. Решение показало, что учет неоднородности тока имеет важное значение для датчиков со структурой типа “barber-pole” и дает лучшее сходство с экспериментальными результатами.

В **третьей главе** рассматриваются процессы перемагничивания тонкого элемента с сечением в форме эллипса, который является частью спин-туннельного магниторезистивного элемента. Автор показал, что использование классической модели Стонера-Вольфарта когерентного перемагничивания дает результаты, схожие с экспериментом, однако наблюдались и существенные расхождения. Для их объяснения было выдвинуто предположение о том, что перемагничивание может происходить с образованием доменов. Учет данного обстоятельства в расчетах с использованием метода динамического установления показал лучшее сходство с экспериментом.

В **четвертой главе** автор разработал и реализовал в виде готового устройства численные алгоритмы решения обратной задачи магнитостатики, так называемой задачи магнитной локации. Решение задачи рассматривается в случае, когда источник магнитной неоднородности находится на достаточно большом расстоянии, чтобы его можно было эффективно заменить одним диполем. Особо выделяется полученная автором приближенная аналитическая формула, которая показывает хорошую точность как при теоретических расчетах, так и в эксперименте. Также был разработан и экспериментально подтвержден новый метод изменения магнитного поля посредством магнитной локации.

В **заключении** приведены основные результаты диссертации.

Среди результатов работы особо хотел бы выделить полученное аналитическое решение двумерного уравнения Лапласа в области косоугольного магниторезистивного элемента, позволяющее выполнить регуляризацию решения в особых областях, а также численное решение обобщенного уравнения Лапласа, учитывающее эффект анизотропного магнитосопротивления, которое позволило объяснить асимметричность экспериментальных полевых зависимостей сопротивления.

При общей высокой оценке диссертационной работы следует отметить ряд замечаний:

1. Было бы полезным предпослать тексту работы указатель сокращений. Так, в тексте встречаются аббревиатуры: «АМР», «ГМР», расшифровка которых далеко отстоит от их последующих вхождений в текст, аббревиатура «ОЛН» расшифрована только на 21, а используется, начиная с 12-ой страницы.

2. Структура диссертации отличается от традиционной также в том, что не включает литературный обзор, а введения в каждую главу недостаточно развернуты.

3. Также на с. 98 говорится, что «Вывод данных формул достаточно громоздкий, поэтому в данной диссертации он не представлен», однако их можно было привести в специальном разделе «Приложения».

4. В формулах на с. 37 разноразличными в обозначениях: толщина пленки то обозначается h , то D , ширина доменной границы то « a », то « d ».

5. В формуле 1.43 на с.38, хорошо бы пояснить смысл слагаемых

6. В таблице 1.1 на с.39 приведенные экспериментальные величины даны без указания погрешностей.

7. с. 43 непонятно, что подразумевается под «противоположными» элементами мостовой схемы.

8. с. 81 «на образце была проведена серия измерений» - кем проведена? Это неясно, поскольку личный вклад изложен формально.

9. Подпись к рис. 3.3 и 3.4: Штриховая линия названа пунктирной

10. Текст несвободен от ряда опечаток и ошибок согласования, впрочем, немногочисленных: с. 6 «неоднородному распределения», с. 71 «форма кривой также качественно лучше совпадает», с.81 «фиолетова кривая», с. 110 «двумерного уравнение Лапласа».

Приведенные замечания в основном носят характер редакторской правки, и потому несколько не умаляют общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту 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, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Шевцов Владислав Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – «Теоретическая физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры физики колебаний
физического факультета
ФГБОУ ВО Московского государственного
университета имени М.В.Ломоносова

Пятаков Александр Павлович

Контактные данные:

тел.: 7(495)9394138, e-mail: pyatakov@physics.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова, д. 1, стр. 2.
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»,
физический факультет, кафедра физики колебаний.
Тел.: +7(495)9391682; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись профессора кафедры физики колебаний
физического факультета
ФГБОУ ВО Московского государственного
университета имени М.В.Ломоносова
А.П. Пятакова удостоверяю
Ученый секретарь, д.ф.-м.н, проф.

В.А. Караваяев