

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»

Рецензируемая диссертационная работа посвящена решению задач, связанных с исследованием особенностей коллективной самоорганизации в системах многих магнитных диполей, решение которых необходимо для выявления характеристик элементов спинтроники. Помимо этого, рассматривается применение элементов спинтроники для решения обратной задачи магнитостатики по определению положения магнитного диполя в пространстве.

Актуальность темы. В последние годы, в связи с развитием микроэлектроники и появлением новых измерительных и вычислительных комплексов, появилась возможность решать недоступные ранее научно-технические задачи. Автором диссертации показана экспериментальная реализация разработанного им численного алгоритма решения обратной задачи магнитостатики, именуемой автором как задача магнитной локации. Имеется источник магнитной неоднородности, который может иметь разнообразную форму и природу. В частности, таким источником может быть трещина или ржавчина на поверхности трубопроводов или рельса, по которым течет тестовый ток, а также намагниченное тело произвольной формы. По результатам измерения компонент магнитного поля в некоторых точках пространства требуется установить положение источника, его природу, форму, величину и т.д. Магнитная локация находит применение во многих актуальных задачах. Например, для определения положения и

ориентации капсулы эндоскопа, раннего обнаружения повреждений на поверхности магистральных трубопроводов и т.д.

Научная новизна и практическая значимость исследований.

Впервые автором диссертации предложено решение задачи магнитной локации в аналитическом виде и сконструирован оригинальный макет магнитного локатора на основе четырех 3-хосевых датчиков магнитного поля. Данный макет позволил подтвердить эффективность нового бесконтактного метода измерения внешнего магнитного поля путем определения магнитного момента стального шарика, намагниченного этим полем.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Научные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными, все разработанные модели подтверждаются строгими аналитическими выкладками. Достоверность результатов подтверждается также хорошим совпадением рассчитанных теоретически зависимостей с экспериментами, выполненными с применением современных методов цифровой обработки.

Краткая характеристика основного содержания работы.

Диссертация В.С. Шевцова состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержащего 111 наименований. Объем диссертации составляет 122 страницы.

Во **введении** дан краткий исторический обзор исследований, связанных с темой диссертации, проведено обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цели и основные задачи работы, охарактеризована степень научной новизны полученных результатов, кратко описаны методология и методы исследований и перечислены положения, выносимые на защиту. Приведена информация об апробации работы на конференциях и об основных публикациях автора по теме диссертации.

В **первой главе** исследуются особенности коллективной самоорганизующейся спиновой структуры в тонких пленках FeNiCo. В эксперименте с помощью магнитно-силового микроскопа было обнаружено,

что микромагнитная структура пленки с случае оси легкого намагничивания (ОЛН) вдоль короткого ребра содержит домены, которые соответствуют структуре Ландау-Лифшица. Теоретический расчет периода данной доменной структуры был выполнен на основе расчета и минимизации полной магнитной энергии пленки, доменная структура которой совпадает с обнаруженной экспериментально. Рассчитанные теоретически периоды показали хорошее совпадение с экспериментальными результатами.

Во **второй главе** автором был проведен расчет распределения тока в косоугольном тонком элементе, которое в общем случае является неоднородным. Для этого был использован метод сопряженных функций и конформных преобразований. Следует отметить, что в большинстве случаев данный метод приводит лишь к вычислению сложного интеграла от функции комплексного переменного, что возможно сделать только численно. Однако автору удалось обнаружить способ, при котором решение можно получить в элементарных аналитических функциях. Для этого был применен так называемый метод «сшивания» в областях, где распределение тока близко к однородному. Благодаря аналитическому решению в дальнейшем удалось произвести правильную регуляризацию областей с сингулярностями, которые неизбежно возникают при решении такой задачи.

Третья глава посвящена развитию теории и ее приложению к спин-туннельным магниторезистивным элементам. Объектом исследования являлся спин-туннельный переход в форме эллипса. В его состав входит синтетическая антиферромагнитная структура, состоящая из двух противоположно намагниченных слоев CoFe и CoFeB. В рамках модели когерентного вращения вектора намагниченности свободного слоя спин-туннельного перехода автором был реализован метод минимизации объемной плотности магнитной энергии. Также для сравнения использовался известный программный пакет для микромагнитного моделирования OOMMF, который использует метод динамического установления. Несмотря на то, что первый метод дает удобные аналитические формулы для расчета

процессов перемагничивания, тем не менее полученные результаты с помощью пакета ООММФ демонстрируют лучшее сходство с экспериментом. Автор объясняет этот факт тем, что перемагничивание свободного слоя происходит с образованием доменов, что не учитывается в модели когерентного перемагничивания.

Четвертая глава посвящена решению обратной задачи магнитостатики по определению положения и ориентации магнитного диполя в пространстве по известным значениям магнитного поля в заданных точках пространства. В диссертации рассматриваются случаи с $N = 12$ и $N = 16$ точками измерения, причем датчики, измеряющие проекции магнитного поля, расположены в вершинах куба со стороной $a = 10$ см. Для решения задачи автор использовал метод минимизации функционала квадратичного отклонения экспериментально измеренных величин от теоретически рассчитанных. Помимо этого, для случая с $N = 16$ точками измерений была получена приближенная аналитическая формула, что является существенным прорывом в решении такой обратной задачи. В эксперименте данная формула дает ошибки по координатам не более 10 %.

В заключении приведены основные результаты диссертации.

Замечания по работе.

1. Теоретическая формула (4.33) на стр. 105 для расчета внешнего магнитного поля с использованием метода магнитной локации и ферромагнитного шарика, помещённого в это поле, выведена для случая однородного внешнего поля. Однако в эксперименте использовался достаточно крупный шарик, в пределах которого поле имеет сильную неоднородность. В работе не указана величина систематической ошибки, возникающей в данном методе.
2. В главе 4 приведено приближенное аналитическое решение обратной задачи магнитостатики в виде громоздких формул (4.21 – 4.26), однако не представлен подробный вывод данного выражения.

3. Требуют пояснения следующие не очевидные утверждения на стр. 93-94: «В данной работе представлено развитие метода магнитной локации с использованием трех 3-хосевых датчиков магнитного поля, а также впервые была предложена схема с использованием четырех 3-хосевых магниторезистивных датчиков, расположенных в разных плоскостях. Схема расположения датчиков показана на рисунке 4.8». Схема на рисунке 4.8 демонстрирует только расположение датчиков, но не ориентацию его измерительных осей.

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 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 математики
физического факультета
Московского государственного
университета имени М.В.Ломоносова

Ягола Анатолий Григорьевич

Контактные данные:

тел.: 7(495)9391033, e-mail: yagola@physics.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защита диссертация:

01.04.02 – Теоретическая и математическая физика.

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 математики.

Тел.: +7(495)9391682; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись профессора кафедры математики физического факультета
Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
А.Г. Яголы заверяю.

Ученый секретарь Ученого Совета физического факультета МГУ им.

М.В.Ломоносова профессор

В.А.Карavaев