

Заключение диссертационного совета Д 01.015.01 на базе
Государственного учреждения «Донецкий физико-технический институт
им. А. А. Галкина»

Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета Д 01.015.01
от 11 июня 2019 г. № 3

О ПРИСУЖДЕНИИ

Метлову Константину Леонидовичу,
гражданину Донецкой Народной Республики
ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация “Топологические солитоны в магнитных наноструктурах” по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния принята к защите «06» марта 2019 г., протокол № 2 диссертационным советом Д 01.015.01 на базе Государственного учреждения «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики, адрес: Донецк-114, ул. Розы Люксембург, 72; приказ № 15 МОН ДНР от 18 января 2016 г. о создании диссертационного совета.

Соискатель Метлов Константин Леонидович 1973 года рождения, в 1995 году окончил Донецкий государственный университет по специальности “теоретическая физика”. В 1998 г. защитил диссертацию «Температурный анализ процессов намагничивания в магнитомягких материалах. Подход модели Прейзаха» по специальности “физика конденсированных систем и материалов” в Карловом Университете, г. Прага (Чешская Республика). В 2007-м по результатам переаттестации этой диссертации ВАК Украины, на основа-

нии решения специализированного совета Д 11.184.01 при Донецком физико-техническом институте им. А.А. Галкина, ему была присуждена учёная степень кандидата физико-математических наук.

Работает старшим научным сотрудником в Государственном учреждении «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики.

Диссертация выполнена в Государственном учреждении «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики.

Официальные оппоненты:

1. Григорьев Сергей Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом исследования конденсированного состояния Федерального государственного бюджетного учреждения (ФГБУ) Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ «Курчатовский Институт» (г. Гатчина);

2. Звездин Анатолий Константинович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник теоретического отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН (г. Москва);

3. Шавров Владимир Григорьевич, доктор физико-математических наук, профессор, руководитель лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (г. Москва)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» в своем положительном заключении, подписанном Фридманом Юрием Анатольевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой теоретической

физики и физики твердого тела, указала, что диссертационная работа “Топологические солитоны в магнитных наноструктурах” соответствует требованиям ВАК Донецкой Народной Республики, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, а ее автор Метлов Константин Леонидович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Соискатель имеет 56 опубликованных работ, в том числе 21 научную статью в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации.

Наиболее значительные работы:

1. Metlov, K.L. Magnetization patterns in ferromagnetic nano-elements as functions of complex variable / K.L. Metlov // Phys. Rev. Lett. - 2010. - V. 105, № 10. - P. 107201.

2. Metlov, K.L. Quasiuniform in-plane magnetization state of thin cylindrical dots in a square array and related anisotropy / K.L. Metlov // Phys. Rev. Lett. - 2006. - V. 97, № 12. - P. 127205.

3. Metlov, K.L. Vortex mechanics in planar nanomagnets / K.L. Metlov // Phys. Rev. B. - 2013. - V. 88, № 1. - P. 014427.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Официального оппонента Григорьева Сергея Валентиновича с тремя замечаниями:

1.1. Возможно ли экспериментальное наблюдение рассеяния нейтронов магнитными вихрями в наноцилиндрах? Вследствие малого объёма образцов величина сечения рассеяния может оказаться слишком малой для обнаружения в эксперименте.

1.2 Распределение намагниченности в модели магнитного вихря представлено в виде сшивки солитона и мерона. На границе ядра эти два распределения намагниченности сшиваются непрерывно, но производные её компонент терпят разрыв. Это означает, что распределение векторов намагниченности вдоль границы ядра вихря не может быть решением системы урав-

нений Эйлера-Лагранжа для обменного функционала. Вряд ли можно ожидать присутствие таких особенностей векторного поля намагниченности в эксперименте.

1.3 Топологический заряд обычно вводится как целочисленный класс векторного поля, позволяющий разделить между собой (объединить в группы) различные конфигурации, которые нельзя (можно) перевести друг в друга путём непрерывной деформации поля. При этом магнитный вихрь в круглом цилиндре топологически эквивалентен однородно намагниченному параллельно оси цилиндра состоянию и может быть легко переведен в него непрерывным поворотом всех спинов в направлении этой оси. Является ли магнитный вихрь топологическим солитоном?

2. Официального оппонента Звездина Анатолия Константиновича с тремя замечаниями:

2.1. В сформулированной автором модели ширина доменной границы с перетяжками и ее период (вдоль границы) не являются независимыми величинами и контролируются одним параметром. Более реалистичной была бы модель, в которой эти величины являлись бы независимыми.

2.2. При точном решении уравнений Ландау-Лифшица динамическая деформация магнитной текстуры возникает в процессе решения уравнений за счет ее ненулевой скорости. В рассматриваемом случае все промежуточные состояния заранее predeterminedены и локально минимизируют только обменный функционал, а кинетический член в лагранжиане при их выводе явно не учитывается.

2.3. Все же не совсем ясно - почему топологические ограничения выполняются для решетки магнитных вихрей и не выполняются для решетки ЦМД, хотя (в случае ЦМД с блоховскими границами) распределения намагниченности получаются топологически эквивалентными.

3. Официального оппонента Шаврова Владимира Григорьевича с тремя замечаниями:

3.1. Минимизация обменного функционала приводит к уравнению Эйлера с граничными условиями, обнуляющими производную векторного поля намагниченности по нормали к границе частицы. При выводе пробных функций в третьей главе используются граничные условия, при которых векторное поле намагниченности не имеет на боковой поверхности цилиндра нормальных компонент. Почему?

3.2. Известно, что в тонких плёнках и наноструктурах динамика намагниченности проявляет себя в виде (движущихся, стоячих, объёмных, поверхностных) спиновых волн. Тем не менее, при рассмотрении динамики в Главе 5 о них ничего не сказано. Почему ?

3.3. На рисунке 6.8, иллюстрирующем выполнение топологических ограничений в кольце, пусть и в пределах погрешности, но всё же отчётливо видна систематическая составляющая, примерно следующая графику амплитуды приложенного магнитного поля (приведенному на том же рисунке). Теоретическая модель наличие этой составляющей не объясняет. С чем она может быть связана ?

4. Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского (ведущей организации) с четырьмя замечаниями:

4.1. Существует несколько выражений для взаимодействия Дзялошинского-Мория, в том числе и в оригинальных работах, где используются векторы ферромагнетизма и антиферромагнетизма. Почему в работе используется именно выражение в виде скалярного произведения намагниченности на её ротор?

4.2. В работе предполагается постоянство длины вектора магнитного момента. Однако, хорошо известно, что это условие справедливо в изотропных, либо приближенно выполняется для слабо анизотропных магнетиков, т.е. в случае, когда энергия анизотропии много меньше энергии обменного взаимодействия. В противном случае длина магнитного момента не является константой (эффект квантового сокращения спина). Однако в диссертации

нигде не оговариваются соотношения между материальными параметрами системы, такими, например, как константа анизотропии и константа обменного взаимодействия.

4.3. Во втором разделе автор пишет “магнитостатическое (дипольное) взаимодействие в бесконечном магнетике инвариантно относительно общего поворота всех магнитных моментов” Дипольное взаимодействие можно интерпретировать как анизотропию типа “лёгкая плоскость”, которая инвариантна относительно поворотов в лёгкой плоскости.

4.4. Автор в тексте диссертации использует термин “магнитные текстуры”, который не является общепринятым в русскоязычной научной литературе, и, как нам кажется – не самый удачный.

Отзывы на автореферат диссертации прислали:

5. Фраерман Андрей Александрович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики микроструктур РАН, заведующий отделом магнитных наноструктур, дал положительный отзыв на автореферат без замечаний.

6. Маламуд Марк Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Российский Университет Дружбы Народов, Математический институт имени академика С.М. Никольского, факультет физико-математических и естественных наук, дал положительный отзыв на автореферат с одним замечанием:

6.1. Есть замечание по терминологии: "функцию Шоттки-Клейна" более точно называть "главной формой Шоттки–Клейна", что подчёркивает её связь с понятием "главной формы" на многообразии Якоби компактной римановой поверхности. Главные формы, в свою очередь, широко применяются в алгебраической геометрии.

7. Захаров Анатолий Юльевич, доктор физико-математических наук, профессор, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, кафедра общей и экспериментальной физики, дал положительный от-

зыв на автореферат без замечаний.

8. Иванов Борис Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”», ведущий научный сотрудник кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов, дал положительный отзыв на автореферат с двумя замечаниями:

8.1. В качестве замечания: я не согласен с утверждением автора, что анализ нелинейной прецессии вихря в принципе невозможно описать при помощи уравнения Тила. Такое описание возможно, и проводилось многими авторами, путем включения непараболического потенциала в это уравнение. Этот потенциал получается из последовательного решения статической задачи о системе со смещенным вихрем. Однако это замечание не умаляет важности проведенного автором исследования нелинейности, связанной с кинетической частью этого уравнения.

8.2. У меня есть также замечания, касающиеся терминологии: я не уверен, что стоит использовать термин «прямоугольный цилиндр». Зачем использовать термин «мерон», то есть чем этот мерон отличается от вихря?

9. Дадоевкова Наталья Николаевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновский государственный университет», старший научный сотрудник НИТИ им. С. П. Капицы, дала положительный отзыв на автореферат с одним замечанием:

9.1. В автореферате диссертации имеются опечатки и незначительные стилистические недочёты, которые не отражаются на научном значении работы.

10. Сирюк Юлия Андреевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ГОУ ВПО «Донецкий национальный универси-

тет», ведущий научный сотрудник научно-исследовательской части (отдел «Физика магнитных явлений и высокотемпературная сверхпроводимость»), дала положительный отзыв на автореферат с одним замечанием:

10.1. На магнитной фазовой диаграмме основных состояний (Рисунок 11 автореферата) точка равенства энергий большого и классического вихря соответствует основному состоянию цилиндра с намагниченностью, лежащей в плоскости его основания. То есть оба вихревых состояния являются метастабильными. Не обесценивает ли это перспективы использования переключений между вихревыми состояниями для магнитной записи, поскольку оба они будут спонтанно релаксировать к однородному состоянию?

11. Самсонов Владимир Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный университет», профессор кафедры общей физики, дал положительный отзыв на автореферат с двумя замечаниями:

11.1. Многоплановость для докторской диссертации вполне естественна. Однако следовало бы пояснить замысел работы несколько детальнее. В частности, не ясно, почему вторая глава работы посвящена рассмотрению рассеяния нейтронов слабонеоднородным ферромагнетиком, учитывая, что целью работы являлось распространение теории двумерных топологических солитонов на случай конечных систем.

11.2. В подписи на рис. 6 отмечается, что аналогичные состояния наблюдались и в экспериментах. Поскольку это отмечается в подписи к рисунку, следовало бы привести на нем и экспериментальные векторные поля намагниченности. Для автореферата, т.е. документа на правах рукописи, это было бы вполне допустимо.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что, во-первых, официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области исследования магнитных характеристик твердых тел и на-

ноструктур, как в монокристаллическом, так и в поликристаллическом состоянии; во-вторых, одним из основных научных направлений кафедры теоретической физики и физики твердого тела Физико-технического института как структурного подразделения Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского является изучение фазовых состояний магнетиков, соответствующих их спиновой структуре и обусловленных нелинейными взаимодействиями. Все это согласуется с темой исследований “Топологические солитоны в магнитных наноструктурах”.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получен целый ряд новых научно обоснованных фундаментальных и прикладных результатов, важных для развития физики конденсированного состояния. В частности:

1. Автором разработана приближённая аналитическая теория магнитных состояний в планарных нанозементах произвольной формы и связности. Она позволяет строить семейства аналитических пробных функций для распределений намагниченности в магнитных наноструктурах.

2. Предложена новая модель для доменной границы с перетяжками в тонкой магнитной пленке.

3. Теоретически предсказано новое магнитное состояние кругового наноцилиндра — большой магнитный вихрь, исследованы области его стабильности и равновесия на магнитной фазовой диаграмме.

4. Предложена новая модель квазиоднородных состояний намагниченности типа “лист” и типа “С” в круговом наноцилиндре. Определены области метастабильности этих состояний в терминах геометрических размеров цилиндра.

5. Разработана новая теория анизотропии четвёртого порядка при вращении внешнего магнитного поля в плоскости квадратного массива круговых наноцилиндров, которая количественно воспроизводит как

геометрическую, так и полевую зависимость константы анизотропии.

6. Впервые с использованием одинаковых пробных функций для кинетического и потенциального членов в лагранжиане вычислена частота прецессии магнитного вихря в круговом цилиндре. Впервые теоретически исследована нелинейная прецессия магнитного вихря в круговом цилиндре и вычислен амплитудно-частотный коэффициент этой прецессии.

7. Впервые теоретически предсказано существование топологических ограничений на положения магнитных солитонов в многосвязных планарных нанозементах. Выполнение этих ограничений в концентрическом кольце проверено на основе независимого эксперимента.

8. Предсказан новый эффект третьего порядка в сечениях малоуглового рассеяния нейтронов поликристаллическим наноструктурированным ферромагнетиком, суть которого сводится к тому, что определённая комбинация значений сечения рассеяния вдоль некоторых направлений волнового вектора не равна нулю в третьем порядке теории возмущений, но равна нулю во втором. Впервые вычислены сечения рассеяния нейтронов магнитным вихрем в круговом наноцилиндре.

Практическая ценность научных работ соискателя ученой степени заключается в разработке основ новой теории магнитных состояний планарных наноструктур, выполненных из магнитных материалов. Такие наноструктуры являются новыми объектами, контролируемое создание которых стало возможным в конце прошлого – начале нынешнего века как следствие совершенствования методов литографии. Теория сложных нелинейных (солитонных) магнитных состояний наноструктур является необходимой предпосылкой для этих разработок.

Достоверность полученных в диссертации теоретических результатов обусловлена корректным применением известных математических методов и использованием фундаментальных физических законов и принципов в каче-

стве основы для исследований. Обобщения известных результатов, полученные в работе, проверены сериями предельных переходов. Корректность использованных приближений подтверждается согласием полученных с их помощью результатов с теоретическими, экспериментальными и численными результатами, полученными в работах других авторов.

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Из 21 статьи, опубликованных по теме диссертации, 10 работ выполнены без соавторов. В 4-х работах по рассеянию нейтронов, которые также содержат экспериментальные результаты, вклад автора в микромагнитные расчёты был определяющим, именно результаты этих расчётов отражены в диссертации. В 3-х работах по статическим свойствам кругового наноцилиндра, выполненных с соавтором (К. Ю. Гуслиенко), пробные функции, лежащие в основе вычислений, получены автором, расчёты магнитостатической энергии были выполнены автором параллельно с соавтором, а затем сравнивались между собой для проверки. В работе по карте метастабильных состояний, выполненной с соавтором (YoungPak Lee), вклад автора в постановку задачи, конкретные расчёты и выводы был определяющим. В 3-х работах по микромагнитным задачам в многосвязных областях, выполненных с соавтором (А. Б. Богатырёв), решение (поставленных автором) краевых задач теории функции комплексного переменного было выполнено совместно с А. Б. Богатырёвым, причём его вклад в математическое решение этих задач был ключевым (кроме представления решений в многосвязных наноэлементах при помощи функций Шоттки-Клейна, полученного лично автором), физические выводы из этих решений были сформулированы автором. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

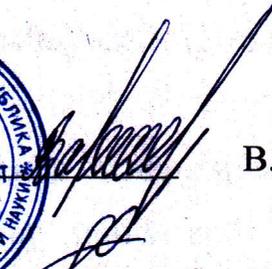
На заседании 11 июня 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Метлову К. Л. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 17 докторов наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 1, недействительных бюллетеней 0.

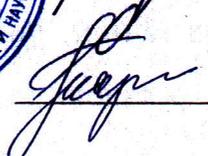
По объему выполненных исследований, весомости новых научных результатов и выводов, которые в совокупности являются значительным достижением для развития научных представлений о статических и динамических свойствах магнитных наноструктур, диссертация К. Л. Метлова соответствует требованиям пункта 2.1 раздела II Положения о присуждении ученых степеней на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Председатель диссертационного совета
Д 01.015.01
д.ф.-м.н., проф.




В.Н. Варюхин

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 01.015.01, к.ф.-м.н., с.н.с.


Т.Н. Тарасенко

18 июня 2019 г.