

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.069.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК», МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело N \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 18 октября 2018 № 9

О присуждении Сапожникову Максиму Викторовичу гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация "Эффекты магнито- и электростатического взаимодействия в коллективном поведении микро и наносистем" по специальности 01.04.07 физика конденсированного состояния принята к защите 28.06.2018 (протокол заседания № 4) диссертационным советом Д 002.069.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603950 г. Нижний Новгород, БОКС - 120, ул. Ульянова. 46, приказ от 30 июня 2017 года номер 670/нк о создании диссертационного совета.

Соискатель Сапожников Максим Викторович, 1968 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук "Нелокальные взаимодействия и коллективные эффекты в системах магнитных нанобъектов" защитил в 2000 году в диссертационном совете, созданном на базе Института прикладной физики Российской академии наук, работает старшим научным сотрудником в Институте физики микроструктур

РАН — филиале Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе физики сверхпроводников (120 отдел) и в отделе магнитных наноструктур (150 отдел) Института физики микроструктур РАН — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

- 1) Кудасов Юрий Бориславович, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник научно-производственного центра физики Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ) Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»,
- 2) Логунов Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории магнитных и оптических микро и наноструктур Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
- 3) Пятаков Александр Павлович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, профессор кафедры физики колебаний физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова,

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, в своем **положительном**

**отзыве**, подписанном Бухараевым Анастасом Ахметовичем, доктором физико-математических наук, профессором, членом-корреспондентом Академии наук Республики Татарстан, главным научным сотрудником лаборатории физики и химии поверхности, Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение, указала, что работа Сапожникова М.В. "выполнена на высоком научном уровне, результаты оригинальны и достоверны, обладают высокой научной и практической значимостью и представляет собой завершённое исследование физики микро и наносистем систем с дальнедействующими взаимодействиями".

Соискатель имеет 177 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 74 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 28 работ. Работы по теме диссертации опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах (Письма в ЖЭТФ, Nature Comm., Phys.Rev.Lett., Phys.Rev.B, Phys.Rev.E, Appl.Phys.Lett.), в диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Наиболее значительные работы:

1. Sapozhnikov, M.V. Dynamic self-assembly and patterns in electrostatically driven granular media / M.V.Sapozhnikov, I.S.Aranson, Y.V.Tolmachev, W.-K.Kwok // Phys. Rev. Lett. - 2003. - V.90. - P.114301-1-114301-4.
2. Sapozhnikov, M.V. Self-assembly and vortices formed by microparticles in weak electrolytes / M.V.Sapozhnikov, I.S.Aranson, Y.V.Tolmachev, W.-K.Kwok. // Phys.Rev.Lett. - 2004. - V.93. - 084502-1-084502-4.
3. Sapozhnikov, M.V. Two-dimensional skyrmion lattice in a nanopatterned magnetic film / M.V.Sapozhnikov and O.L.Ermolaeva. // Phys. Rev. B - 2015. - V.91. - P.024418-1-024418-6.
4. Sapozhnikov, M.V. Frustrated magnetic vortices in hexagonal lattice of magnetic nanocaps / M.V.Sapozhnikov, O.L.Ermolaeva, B.G.Gribkov, I.M.Nefedov, I.R.Karetnikova, S.A.Gusev, V.V.Rogov, B.B.Troitskii, and L.V.Khokhlova. // Phys.Rev. B - 2012. - V.85. - P.054402-1-054402-6.

5. Sapozhnikov, M.V. Optical and magneto-optical resonances in nanocorrugated ferromagnetic films / M.V.Sapozhnikov, S.A.Gusev, B.B.Troitskii, L.V.Khokhlova. // Optics Letters - 2011. - V.36. - P.4197-4199.
6. Sapozhnikov, M.V. Magnetic and optical properties of nanocorrugated Co films / M.V.Sapozhnikov, S.A.Gusev, V.V.Rogov, O.L.Ermolaeva, B.B.Troitskii, L.V.Khokhlova, D.A.Smirnov. // Appl. Phys. Lett. - 2010. - V.96. - 122507-1-122507-3.
7. Sapozhnikov, M.V. Artificial dence lattice of magnetic bubbles / M.V.Sapozhnikov, S.N.Vdovichev, O.L.Ermolaeva, N.S.Gusev, A.A.Fraerman, S.A.Gusev, and Yu.V.Petrov. // Appl. Phys. Lett. -2016. - V.109. - P.042406
8. Sapozhnikov M.V. Coarsening of granular clusters: two types of scaling behaviors / M.V.Sapozhnikov, I.S.Aranson, J.S.Olafsen. // Phys. Rev. E. - 2003. - V.67. - 010302-1-010302-4.
9. Sapozhnikov, M.V. Far-from-equilibrium Ostwald ripening in electrostatically driven granular powders / M.V.Sapozhnikov, I.S. Aranson, K.L. Kohlstedt, B. Meerson, A. Peleg. // Phys.Rev.E - 2005. - V.71. - P.011307-1-011307-5.
10. Сапожников М.В., Магнитные скирмионы в пленках с модулированной толщиной / М.В. Сапожников, О.В. Ермолаева, Е.В. Скороходов, Н.С. Гусев, М.Н. Дроздов // Письма в ЖЭТФ - 2018 - Т. 107 - С. 378

На автореферат поступили отзывы:

- 1) Из Фрязинского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук от доктора физ.-мат. наук Вилкова Евгения Александровича. Отзыв положительный, не содержит замечаний.
- 2) Из Научно-исследовательского физико-технического института Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им Н.И.Лобачевского от доктора физ.-мат. наук Дорохина Михаила Владимировича. Отзыв положительный, не содержит замечаний.

- 3) Из Московского государственного университета им М.В.Ломоносова от доктора физ.-мат. наук Мурзиной Татьяны Владимировны. Отзыв положительный, при этом указано, что в автореферате недостаточно полно проанализированы механизмы некоторых наблюдаемых эффектов, недостаток отнесен на счет ограниченности объема автореферата.
- 4) Из Дальневосточного федерального университета от доктора физ.-мат. наук Огнева Алексея Вячеславовича. Отзыв положительный, при этом в качестве замечаний указано, что в разделе «Цели и задачи диссертационной работы» отдельно не выделена цель работы, отмечается большое количество опечаток и некоторые отклонения от ГОСТа в подписях к рисункам.
- 5) Из Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики от доктора физ.-мат. наук Уздина Валерия Моисеевича. Отзыв положительный, при этом указано на возможность использования альтернативных методов расчета температурных эффектов при перемагничивании цепочек магнитных наночастиц.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их научными интересами и опытом работы в области исследований, которым соответствует тематика диссертации М.В. Сапожникова, что подтверждается их публикациями в рецензируемых изданиях. Д.ф.-м.н. Ю.Б. Кудасов является известным специалистом в области исследования поведения конденсированных сред в сильных внешних полях, а также имеет работы по исследованию фрустрированных состояний в кристаллах с антиферромагнитным взаимодействием. Д.ф.-м.н. М.В. Логунов известен как специалист в области использования магнитооптических методов для экспериментального исследования неоднородных состояний в ферромагнитных материалах. Д.ф.-м.н. А.П. Пятаков является ведущим специалистом в области микромагнетизма, магнитоэлектрических эффектов и магнитных доменов, а также имеет работы

по топологически заряженным состояниям в магнитных материалах. Выбор ведущей организации обоснован тем, что она широко известна как центр исследования нано и микроструктурированных материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **предложены** методы наноструктурирования ферромагнитных пленок переходных металлов, позволяющие стабилизировать в них магнитные скирмионы при комнатной температуре в отсутствие внешнего магнитного поля;
- впервые **получены** искусственные решетки магнитных скирмионов с высокой плотностью топологического заряда (до  $25 \text{ мкм}^{-2}$ );
- впервые экспериментально **обнаружен** и подтвержден методами численного микромагнитного моделирования невзаимный характер распространения электромагнитных волн в решетках магнитных вихрей обладающих тороидным моментом;
- впервые экспериментально **продемонстрирована** возможность возбуждения оптических плазмонов на поверхности пленок Co и Ni, нанесенных на коллоидный кристалл;
- **предложена** модель, описывающая самоподобный характер кривых намагничивания в системах коэрцитивных однодоменных наночастиц с дипольным взаимодействием;
- впервые экспериментально **обнаружено** формирование статических и динамических структур в ансамблях коллоидных частиц, возбуждаемых электростатическим полем в слабопроводящей жидкости;
- **предложена** модель, описывающая процессы динамической самоорганизации коллоидных частиц в слабопроводящей жидкости.

**Теоретическая значимость** исследования обоснована тем, что:

- исследовано влияние материальных и геометрических параметров магнитных наноструктур на стабильность магнитных скирмионов;

- показано, каким образом антиферромагнитный характер далекодействующих взаимодействий в системе коэрцитивных магнитных моментов может приводить к самоподобному виду кривой намагничивания системы;
- подтвержден невзаимный характер распространения спиновых волн в наноструктурированных пленках ферромагнитного металла на поверхности коллоидного кристалла и в искусственных решетках магнитных скирмионов.

**Значение полученных** соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- развитые представления о влиянии магнитостатического взаимодействия на свойства ансамблей магнитных наночастиц могут быть использованы при разработке устройств с высокой плотностью магнитной записи;
- предложенные методы наноструктурирования пленок переходных металлов приводящие к стабилизации магнитных скирмионов могут быть использованы для разработки искусственных материалов систем с высокой плотностью топологического заряд;
- обнаруженные эффекты невзаимности распространения электромагнитных волн в наноструктурах с управляемым тороидным моментом в распределении намагниченности могут быть использованы при создании невзаимных оптических или СВЧ элементов;
- обнаруженные механизмы динамической самоорганизации в коллоидных растворах металлических и полимерных частиц под действием внешнего электростатического поля могут быть использованы для развития новых технологий конденсированных "мягких" материалов.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила:

экспериментальные результаты **получены** с применением апробированных взаимодополняющих методик изучения структурного состояния, исследования магнитных и магниторезистивных свойств образцов многослойных наноструктур, полученных с помощью современных методов синтеза; выводы работы не имеют принципиальных расхождений с имеющимися

экспериментальными и теоретическими данными других исследователей. - теоретические результаты хорошо описывают полученные диссертантом экспериментальные данные для кривых намагничивания, обратной восприимчивости и магнитосопротивления для двух типов антиферромагнитных кристаллов и не противоречат современным научным представлениям о процессах намагничивания антиферромагнетиков.

Экспериментальные результаты **получены** с использованием современного измерительного оборудования с достаточным количеством экспериментальных данных, воспроизводимых на разных образцах. Выводы работы не имеют принципиальных расхождений с имеющимися экспериментальными и теоретическими данными других исследователей.

**Теоретические результаты** хорошо описывают полученные диссертантом экспериментальные данные для кривых намагничивания и спектров ферромагнитного резонанса и не противоречат современным научным представлениям о процессах намагничивания наноструктурированных ферромагнитных материалов.

**Личный вклад соискателя** состоит в постановке научных задач, в разработке и создании экспериментальных установок и проведение оптических, магнитооптических и транспортных измерений, в анализе и физической интерпретации полученных экспериментальных результатов, в разработке соответствующих теоретических моделей и выполнении аналитических оценок; в постановке задач микромагнитного моделирования и выполнении основного массива численных микромагнитных модельных вычислений; в подготовке основных публикаций по выполненной работе. Теоретические результаты главы 1 были получены частично в соавторстве с Фраерманом А.А., теоретические результаты главы 5 были получены частично в соавторстве с Арансоном И.С.

На заседании 18 октября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Сапожникову М.В. ученую степень доктора физико-математических



наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (01.04.07 – физика конденсированного состояния), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 20, против 0 (нет), недействительных бюллетеней 0 (нет).

Председатель  
диссертационного совета

Гапонов С.В.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Водолазов Д.Ю.

Дата оформления заключения 19.10.2018

Подписи Гапонова С.В. и Водолазова Д.Ю. удостоверяю  
Ученый секретарь ФИЦ ИПФ РАН, к.ф.-м.н.



Корюкин И.В.