

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 01.03.15
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

от «28» мая 2021 г. № 13

о присуждении Бадртдинову Данису Илюсовичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние спин-орбитальной связи и гибридизации атомных состояний на магнитные свойства низкоразмерных систем» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите диссертационным советом УрФУ 01.03.15 «21» апреля 2021 г. протокол № 10.

Соискатель, Бадртдинов Данис Илюсович, 1992 года рождения,

в 2016 г. окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности 140302 Физика атомного ядра и частиц;

в 2020 году окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (Физика конденсированного состояния);

работает в должности инженера кафедры теоретической физики и прикладной математики Физико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Диссертация выполнена на кафедре теоретической физики и прикладной математики Физико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент, Мазуренко Владимир Владимирович, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Физико-технологический институт, кафедра теоретической физики и прикладной мате-

матики, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Дмитриенко Владимир Евгеньевич – доктор физико-математических наук, ФГУ «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, г. Москва, Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН, отдел теоретических исследований, главный научный сотрудник;

Медведева Надежда Ивановна – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, лаборатория квантовой химии и спектроскопии имени профессора А.Л. Ивановского, главный научный сотрудник;

Потеряев Александр Иванович – кандидат физико-математических наук, ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, лаборатория оптики металлов, ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 9, из них 9 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ и входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации – 8,8 п.л., авторский вклад – 2,0 п.л.

Основные публикации по теме диссертации:

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. **Badrtdinov, D. I.** Localised magnetism in 2D electriles / **D. I. Badrtdinov, S. A. Nikolaev** // J. Mater. Chem. C. – 2020. – V. 8, – P. 7858. (0.78 п.л. / 0.39 п.л., Web of Science, Scopus).

2. **Badrtdinov, D. I.** SrCu₂(BO₃)₂ under pressure: A first-principles study / **D. I. Badrtdinov**, A. A. Tsirlin, V. V. Mazurenko, F. Mila // Phys. Rev. B. – 2020. – V. 101, – P. 224424. (1.09 п.л. / 0.27 п.л., Web of Science, Scopus).
3. **Badrtdinov, D. I.** Origin of up-up-down-down magnetic order in Cu₂GeO₄ / **D. I. Badrtdinov**, V. V. Mazurenko, A. A. Tsirlin // Phys. Rev. B. – 2019. – V. 100, – P. 214401. (1.07 п.л. / 0.36 п.л., Web of Science, Scopus).
4. Abdeldaim, A. H. Large easy-axis anisotropy in the one-dimensional magnet BaMo(PO₄)₂ / A. H. Abdeldaim, **D. I. Badrtdinov**, A. S. Gibbs, P. Manuel, H. C. Walker, M. D. Le, C. H. Wu, D. Wardecki, S.-G. Eriksson, Y. O. Kvashnin, A. A. Tsirlin, G. J. Nilsen // Phys. Rev. B. – 2019. – V. 100, –P. 214427. (1.02 п.л. / 0.09 п.л., Web of Science, Scopus).
5. Hembacher, J. Stripe order and magnetic anisotropy in the S = 1 antiferromagnet BaMoP₂O₈ / J. Hembacher, **D. I. Badrtdinov**, L. Ding, Z. Sobczak, C. Ritter, V. V. Mazurenko, A. A. Tsirlin // Phys. Rev. B. – 2018. – V. 98, – P. 094406. (1.00 п.л. / 0.14 п.л., Web of Science, Scopus).
6. **Badrtdinov, D. I.** Magnetism of coupled spin tetrahedra in ilinskite-type KCu₅O₂(SeO₃)₂Cl₃ / **D. I. Badrtdinov**, E. S. Kuznetsova, V. Yu. Verchenko, P. S. Berdonosov, V. A. Dolgikh, V. V. Mazurenko, A. A. Tsirlin // Sci. Rep. – 2018. – V. 8, – P. 2379. (0.89 п.л. / 0.13 п.л., Web of Science, Scopus).
7. **Badrtdinov, D. I.** Nanoskymion engineering with *sp*-electron materials: Sn monolayer on a SiC(0001) surface / **D. I. Badrtdinov**, S. A. Nikolaev, A. N. Rudenko, M. I. Katsnelson, V. V. Mazurenko // Phys. Rev. B. – 2018. – V. 98, – P. 184425. (0.98 п.л. / 0.20 п.л., Web of Science, Scopus).
8. **Badrtdinov, D. I.** Spin-orbit coupling and magnetic interactions in Si(111):C,Si,Sn,Pb / **D. I. Badrtdinov**, S. A. Nikolaev, M. I. Katsnelson, V. V.

Mazurenko // Phys. Rev. B. – 2016. – V. 94, – P. 224418. (0.93 п.л. / 0.23 п.л., Web of Science, Scopus).

9. **Badrtdinov, D. I.** Hybridization and spin-orbit coupling effects in the quasi-one-dimensional spin-1/2 magnet $Ba_3Cu_3Sc_4O_{12}$ / **D. I. Badrtdinov**, O. Volkova, A. A. Tsirlin, I. V. Solovyev, A. N. Vasiliev, V. V. Mazurenko // Phys. Rev. B. – 2016. – V. 94, – P. 054435. (1.03 п.л. / 0.17 п.л., Web of Science, Scopus).

На автореферат поступили отзывы от:

1. **Квашнина Ярослава Олеговича**, Ph.D., исследователя кафедры теории материалов факультета физики и астрономии университета Уппсалы, Швеция. Содержит замечания касательно разработанного метода моделирования спектров сканирующей туннельной микроскопии, а также вопрос о природе расщепления энергетических зон валентных состояний наноструктур *sp*-элементов.

2. **Васильева Александра Николаевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва. Содержит вопрос о выборе приближений для построения магнитных моделей и возможности применения разработанного метода расчета магнитного форм-фактора для изучения материалов с сильной спин-орбитальной связью.

3. **Горностырева Юрия Николаевича**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией цветных сплавов ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит замечание, касающееся влияния дефектов на топологические структуры, а также вопрос о возможности уменьшения критических магнитных полей стабилизации скирмионов в наноструктурах *sp*-элементов.

4. **Стрельцова Сергея Владимировича**, доктора физико-математических наук, профессора РАН, член-корреспондента РАН, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией теории низкоразмерных спиновых

систем ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург. Содержит вопрос о возможной связи между нестабильностью значений параметра обменных взаимодействий в изучаемой системе оксида меди и проблемой стабилизации заселенности d -уровней атомов меди при расчете полных энергий спиновых конфигураций в методе $DFT+U$, а также вопрос об учете влияния подложки на магнитные свойства монослоев тяжелых элементов в наноструктурах sp -элементов.

Выбор официальных оппонентов обосновывается известностью их научных достижений, большим научным вкладом и авторитетом в области физики конденсированного состояния.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение научной задачи математического моделирования магнитных свойств низкоразмерных систем, характеризующихся разными режимами спин-орбитальной связи и гибридизации атомных состояний, что имеет значение для современной физики конденсированного состояния в области проектирования элементной базы электроники нового поколения (спинтроники), интерпретации экспериментальных данных и общего понимания механизмов формирования магнитного упорядочения в низкоразмерных спиновых системах.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработаны комплексные методы оценки гибридизации атомных состояний в формализме функций Ванье.

2. Проведена физическая интерпретация формирования экспериментально наблюдаемого коллинеарного магнитного упорядочения в квазиодномерной системе Cu_2GeO_4 .

3. Изучена роль спин-орбитальной связи и гибридизации атомных состояний в формировании магнитных свойств квазидвумерных систем оксидов молибдена BaMoP_2O_8 и $\text{SiMoP}_3\text{O}_{11}$.

4. Предсказана стабилизация спиновых спиралей при конечных температурах и формирование скирмионов под внешним магнитным полем в поверхностных наноструктурах *sp*-элементов.

Результаты диссертации расширяют представление о механизмах формирования магнитных свойств в низкоразмерных системах. Построенные расширенные магнитные модели для рассмотренных в диссертационной работе низкоразмерных систем могут быть использованы в дальнейших исследованиях с целью поиска возможных реализаций технологически важных фаз. Разработанный метод расчета ковалентного магнитного форм-фактора будет полезен при интерпретации спектров нейтронного рассеяния для соединений с сильной гибридизацией металл-лиганд, где делокализация магнитных моментов наиболее ярко выражена. Предсказанная возможность стабилизации скирмионных состояний в поверхностных *sp*-электронных наноструктурах при лабораторно доступных условиях будет стимулировать дальнейшие экспериментальные исследования ввиду перспектив использования скирмионов в элементной базе электроники нового поколения.

На заседании 28 мая 2021 г. диссертационный совет УрФУ 01.03.15 принял решение присудить Бадртдинову Д.И. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет УрФУ 01.03.15 в количестве 18 человек, из них в удаленном интерактивном режиме – 6, в том числе 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета,

проголосовали: за – 17, против – нет, воздержались – нет. Один член совета не участвовал в открытом голосовании в связи с разрывом аудиовидеосвязи.

Председатель

диссертационного совета

УрФУ 01.03.15

Огородников Игорь Николаевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

УрФУ 01.03.15

Ищенко Алексей Владимирович

28 мая 2021 г.