

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Бадртдинова Даниса Илюсовича «Влияние спин-орбитальной связи и гибридизации атомных состояний на магнитные свойства низкоразмерных систем», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния

Изучение квантового магнетизма в низкоразмерных системах представляет собой одно из наиболее сложных, но в то же время очень интересных направлений современной физики. Сложность в основном определяется необходимостью анализировать корреляции между магнитными моментами в электронных системах с конкурирующими взаимодействиями, что требует разработки соответствующей методической базы для решения многочастичных модельных гамильтонианов. Однако, решение этой проблемы позволяет получить доступ к богатому разнообразию магнитных фаз и явлений, которым нет аналогов в традиционных магнетиках с трехмерной магнитной структурой. В свою очередь, при рассмотрении реальных материалов необходима последовательная адаптация и модификация разработанных модельных подходов с целью учета эффектов гибридизации атомных состояний и спин-орбитальной связи, которые обеспечивают уникальность каждого соединения. Именно решению этих задач посвящена диссертация Бадртдинова Д.И.

В работе были предложены новые численные схемы оценки гибридизационных эффектов при расчете магнитных форм-факторов, моделировании спектров сканирующей туннельной микроскопии и вычислении параметров нелокальных магнитных взаимодействий из первых принципов. Эти методы в совокупности с существующим арсеналом первопринципного моделирования автор применяет для изучения перспективных материалов с разной размерностью, степенью гибридизации и величиной спин-орбитальной связи. По результатам данных исследований автору удалось построить расширенные магнитные модели данных систем, которые описывают их основное состояние, и поведение при конечных температурах и внешнего магнитного поля. Было достигнуто хорошее согласие с имеющимися экспериментальными данными нейтронного рассеяния и термодинамических измерений. Для поверхностных систем  $s$  и  $p$  электронами предсказана стабилизация скирмионных состояний под внешним магнитным полем.

В ходе чтения автореферата возникли следующие вопросы и замечания:

1) Есть ли связь между нестабильностью значений параметра обменного взаимодействия, которая наблюдается в расчетах для соединения  $\text{Cu}_2\text{GeO}_4$  при по-



мощи различных программных комплексов, и проблемой стабилизации заселенности d-уровней атома меди при расчете полных энергий спиновых конфигураций в методе DFT+U?

2) Из текста автореферата непонятно как учитывалось влияние подложки на магнитные свойства монослоев тяжелых элементов в системах X/Si(111) и X/SiC(0001)?

Эти вопросы и замечания носят рекомендательный характер. Автореферат диссертационной работы написан ясным научным языком, хорошо иллюстрирован. Основные результаты опубликованы в солидных научных журналах и представлены на международных конференциях.

Диссертационная работа выполнена на высоком уровне, соответствует требованиям п.п. 9-11 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук. Считаю, что Бадртдинов Данис Илюсович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07. — Физика конденсированного состояния.

Стрельцов Сергей Владимирович,  
доктор физико-математических наук,  
профессор РАН, член-корреспондент РАН,  
главный научный сотрудник,  
заведующий лабораторией теории  
низкоразмерных спиновых систем  
ФГБУН Институт физики металлов  
имени М.Н. Михеева Уральского отделения  
Российской академии наук,

«18» мая 2021 г.

620108, г. Екатеринбург,  
ул. Софьи Ковалевской, 18  
Тел.: +7 (495) 378-36-65  
E-mail: streltsov@imp.uran.ru

Подпись Стрельцова С. В. заверяю



Подпись Стрельцова С. В.  
заверяю  
Руководитель общего отдела  
Е. А. Аюпова  
«18» 05 2021 г.