

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Бухтеева Кирилла Юрьевича
на тему: «Квазидвумерные антиферромагнетики на базе Mn^{2+} ($S=5/2$)»
по специальности 1.3.10 – «физика низких температур»

Представленная диссертация Бухтеева Кирилла Юрьевича посвящена установлению основного магнитного состояния и путей его достижения в соединениях марганца в степени окисления +2, в кристаллических структурах которых реализуется треугольная сетка из ионов Mn^{2+} ($S = 5/2$). В качестве **объектов исследования** диссертантом были выбраны фаза состава $MnSnTeO_6$ в двух формах, и группа фаз состава A_2MnXO_4 ($A = Li, Na, Ag; X = Si, Ge$). Для достижения цели исследования были поставлены следующие **задачи**: 1. Установление квантового основного состояния в киральной и розиантной фазах $MnSnTeO_6$ ($P321$ и $P 3 1m$) по измерениям магнитных и тепловых свойств; 2. Определение режима низкоразмерных корреляций для $MnSnTeO_6$ в парамагнитной области спектров электронного парамагнитного резонанса; 3. Установление квантового основного состояния в семействе соединений A_2MnXO_4 ($A = Li, Na, Ag; X = Si, Ge$) по измерениям магнитных и тепловых свойств; 4. Определение режима низкоразмерных корреляций для A_2MnXO_4 ($A = Li, Na, Ag, X = Si, Ge$) в парамагнитной области в исследованных спектрах электронного парамагнитного резонанса.

Структура диссертации традиционна. Работа изложена на 102 (включая титульный лист, введение, четыре главы, основные результаты и выводы, список литературы и заключение) страницах. Список литературы содержит 70 источников.

Первая глава диссертационной работы является обзором литературных данных, в котором описывается изучаемое явление низкоразмерного магнетизма, рассматриваются различные топологии расположения магнитных ионов в структурах. Особое внимание уделяется фазам,

содержащим магнитные ионы Mn^{2+} в структуре которых формируются треугольные двумерные сетки. На основании литературных данных были выбраны прототипы для исследования – фаза $MnSb_2O_6$ и ортосиликаты / ортогерманаты состава Li_2MnXO_4 . Вторая глава посвящена современным методам исследования примененным в работе: исследованию теплоемкости релаксационным методом, измерению магнитных свойств низкоразмерных металлоксидных соединений, съемке и обработке спектров электронного парамагнитного резонанса в широком диапазоне температур; и описанию методов синтеза образцов $MnSnTeO_6$ и A_2MnXO_4 ($A=Li, Na, Ag$; $X = Si, Ge$) изучаемых в работе. Последующие две главы посвящены характеристике магнитного поведения и его интерпретации для фаз из двух изученных семейств.

Актуальность представленной **работы** определяется важностью фундаментального вопроса об установлении основного квантового состояния двумерных магнетиков для систем с высоким значением спина магнитных ионов. В частности, такие структуры перспективны для поиска мультиферроэлектричества или взаимосвязанных магнитной и электрической подсистем. Исследование было поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (грант 18-02-00326) и Российским научным фондом (грант 22-43-02020). **Достоверность** полученных результатов подтверждается их воспроизводимостью на различных образцах и широком наборе сертифицированных приборах. Эксперименты проводились в строгом соответствии с принципами научного метода и при соблюдении всех необходимых норм и стандартов. Данные были проанализированы и сопоставлены с результатами теоретических расчетов, что позволило подтвердить их достоверность и точность. Научные выводы, полученные в ходе данного исследования, были представлены научному сообществу через публикацию в рецензируемых зарубежных изданиях и докладах на научных конференциях.

Научная новизна диссертации заключается в описании установления квантового основного магнитного состояния и путей его достижения в низкоразмерных треугольных решетках на базе ионов Mn^{2+} со спином $S = 5/2$. В изученных соединениях путем изменения химического состава варьируются расстояния между магнитными центрами, укладка треугольников в слое и расстояния между двумерными слоями. В работе определены границы антиферромагнитного основного состояния для киральной и розианитной фаз $MnSnTeO_6$ на магнитной фазовой диаграмме и исследована динамика низкоразмерных корреляций в парамагнитной области. Для семейства фаз A_2MnXO_4 ($A = Li, Na, X = Si, Ge$) установлены температуры формирования магнитно-упорядоченного состояния, определены границы его существования на магнитной фазовой диаграмме, установлен режим низкоразмерных корреляций в парамагнитной области. В Ag_2MnSiO_4 установлен режим корреляций низкоразмерной магнитной подсистемы. В некоторых случаях экспериментальные данные также были дополнены первопринципными расчетами. Выводы из проведенного исследования обоснованы.

Практическая значимость состоит в углубленном понимании физики двумерных магнитных подсистем со спином $S = 5/2$ и связи между химическим составом, кристаллической структурой и низкоразмерными магнитными свойствами. Работа, несомненно, интересна для широкого круга специалистов как в России, так и за рубежом.

При прочтении диссертации возникли следующие **замечания и вопросы**:

1. Во введении автор утверждает, что в «настоящей работе исследована взаимосвязь свойств и структуры при замене группы SbO_6 на TeO_6 » применительно к соединению $MnSnTeO_6$, которое рассматривается как производное от структуры прототипа $MnSb_2O_6$. Однако, понятно, что гетеровалентное замещение Sb^{5+} на Te^{6+} потребует компенсации заряда и поэтому в состав вводят Sn^{4+} , который в изучаемой структуре тоже

находится в октаэдрическом окружении. Учитывалась ли замена части сурьмы на менее заряженное олово?

2. В главе 2 автор приводит описание синтеза изучаемых фаз (Раздел 2.5. стр. 44). Из приведенного описания не ясно, как в случае получения розаитной модификации MnSnTeO_6 из реакционной смеси были удалены ионы Na^+ , Li^+ , K^+ , хлорид и сульфат анионы. Температуры 430°C для этого явно недостаточно.
3. Приводимые в таблице 2.1 параметры элементарных ячеек полученных фаз не могут являться однозначным критерием монофазности образца. Стоило приводить экспериментальные профили рентгеновской дифракции или указывать, что в рентгенограммах дополнительных непроиндексированных рефлексов не наблюдали.
4. На мой взгляд, представление ZnSb_2O_6 как диамагнитного аналога MnSnTeO_6 не совсем правомерно, так как цинковое соединение кристаллизуется, по литературным данным, в пространственной группе $R4_2/mnm$ (136). Синтез этого вещества, а также используемых для сравнения $\text{Li}_2\text{CdGeO}_4$ и $\text{Na}_2\text{ZnSiO}_4$ в главе 2 не описан.

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 1.3.10 – физика низких температур» (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 Бухтеев Кирилл Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.10 – «физика низких температур»

Официальный оппонент:

кандидат химических наук,
доцент кафедры неорганической химии химического факультета МГУ имени
М.В. Ломоносова _____

« ____ » _____ 2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7 495 939 3504, e-mail: berdonosov@inorg.chem.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 02.00.01 - Неорганическая химия

Адрес места работы:

119991, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 3, ГСП-1, МГУ,
химический факультет

Подпись Бердоносков Петр Сергеевич УДОСТОВЕРЯЮ: