

## 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»**

Системы с пониженной размерностью магнитной решетки привлекают пристальное внимание исследователей на протяжении долгого времени из-за возможности реализации в них целого ряда необычных квантовых состояний. Несмотря на существование строгого теоретического доказательства невозможности формирования дальнего магнитного порядка в 2D решетках, учет слабых обменных взаимодействий, типа анизотропии или обмена типа Дзялошинского-Мория, может приводить к магнитному упорядочению в двумерном слое при отличной от нуля температуре. В этом случае особый интерес представляют системы с треугольной конфигурацией магнитных катионов, в которых благодаря большой фрустрации возможна реализация неупорядоченных состояний и большое число близких по энергии магнитных структур.

Большинство работ, посвящённых исследованию низкоразмерных магнитных систем, направлены на изучение объектов со спином  $S = 1/2$ . Таким образом, фундаментальная значимость и актуальность диссертационной работы Бухтеева К.Ю., посвященной исследованию особенностей установления магнитного порядка в низкоразмерных магнитных системах с большим спином  $S = 5/2$ , не вызывает сомнения.

В диссертационной работе установлено основное квантовое состояние квазидвумерных треугольных антиферромагнетиков на базе ионов  $Mn^{2+}$  в ряде новых соединений, включая два структурных полиморфа квазидвумерного магнетика  $MnSnTeO_6$  и семейство силикатов и германатов марганца  $A_2MnXO_4$  ( $A = Li, Na, Ag; X = Si, Ge$ ). В силу особенностей структуры этих трехмерных объектов, магнитные ионы, образующие низкоразмерный магнитный каркас, находятся в тетраэдрическом (группы  $SiO_4, GeO_4$ ) или октаэдрическом (группы  $TeO_6, SbO_6$ ) окружении немагнитными группами. Такие объекты демонстрируют широкий

спектр низкоразмерных корреляций в парамагнитной области, которые сменяются, как правило, формированием магнитоупорядоченного состояния при низких температурах.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 71 библиографический источник. Работа изложена на 102 страницах, содержит 65 рисунков и 14 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, указана цель и поставлены задачи исследования, описана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту. Также в этом разделе представлена информация об апробации работы, числе публикаций и личном вкладе Бухтеева К.Ю. в работу.

Первая глава диссертации представляет собой обзор литературных данных. В ней рассмотрены современные представления о магнетизме в модели Изинга и Гейзенберга, о причинах появления фрустраций в низкоразмерных системах. Уделено внимание низкоразмерным магнетикам с треугольными мотивами в расположении магнитных центров.

Вторая глава посвящена описанию использованных экспериментальных и расчетных методик: магнитометрии, калориметрии, ЭПР спектроскопии. Приведено краткое описание синтеза, анализа фазового и элементного составов исследованных образцов.

В третьей главе обсуждаются результаты исследования статических и динамических магнитных свойств двух новых структурных полиморфов квазидвумерного магнетика  $\text{MnSnTeO}_6$  с треугольной магнитной подсистемой: типа розаита и кирального типа. На основании экспериментальных данных построены магнитные фазовые диаграммы для обоих полиморфов. Предложена модель основного магнитного состояния кирального  $\text{MnSnTeO}_6$ , согласующаяся с результатами нейтронографических исследований.

В четвертой главе обобщены результаты исследований статических и динамических магнитных свойств нового семейства квазидвумерных магнетиков  $\text{A}_2\text{MnXO}_4$  ( $\text{A} = \text{Li}, \text{Na}, \text{Ag}$ ,  $\text{X} = \text{Si}, \text{Ge}$ ) со структурой, основанной на слоях треугольных решеток  $\text{Mn}^{2+}$ . Построены магнитные фазовые диаграммы, установлены основные обменные взаимодействия, предложены коллинеарные

модели антиферромагнитных структур в основном состоянии. Показано, что в  $\text{Ag}_2\text{MnSiO}_4$  дальний магнитный порядок не формируется вплоть до  $T = 1.8$  К.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы, перечислены публикации по теме диссертации.

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях. Всего по теме работы опубликовано 3 статьи в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus.

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждены применением современных методов исследований, воспроизводимостью результатов эксперимента, согласованием полученных результатов с литературными данными.

По диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. К сожалению, одни из наиболее интересных результатов – удельная теплоемкость двух фаз  $\text{MnSnTeO}_6$  – в диссертационной работе не представлены, т.к. на рис. 3.6 ошибочно представлены данные по магнитной восприимчивости этих соединений.

2. Магнитная восприимчивость  $\chi$   $\text{MnSnTeO}_6$  в розианитной фазе прекрасно описывается законом Кюри–Вейсса (рис. 3.3(б)) во всем температурном интервале, в то время как экспериментальная зависимость  $\chi$  этого соединения в киральной фазе существенно расходится с фитом уже при  $T \leq 100$  К (рис. 3.3(а)). В работе не обсуждаются возможные причины этого расхождения.

3. В литературе  $\Delta S_{\text{mag}}$  принято обозначать изотермическое изменение магнитной энтропии. Соответственно, для обозначения вклада магнитной подсистемы в полную энтропию было бы целесообразнее использовать другое обозначение, например,  $S_{\text{mag}}$ .

4. В тексте встречаются опечатки и стилистические погрешности. На некоторых рисунках (например, рис. 3.5, 4.7) экспериментальные данные выходят за границы графика.

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 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 требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Бухтеев К.Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.10. Физика низких температур.

Официальный оппонент:  
доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов

Ховайло Владимир Васильевич \_\_\_\_\_

«26» апреля 2024 г.

Контактные данные:  
e-mail: khovaylo@misis.ru  
Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация: 01.04.11 - Физика магнитных явлений

Адрес места работы:  
119049 г. Москва, Ленинский пр-кт., 4, стр. 1