

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».

Диссертация Бухтеева Кирилла Юрьевича посвящена исследованию и определению основного состояния магнитных свойств розиантной и киральной фаз соединения $MnSnTeO_6$ и A_2MnXO_4 ($A = Li, Na, Ag; X = Si, Ge$) методами электронного спинового резонанса, магнитометрии и удельной теплоемкости. Изучение особенностей свойств низкоразмерных соединений с $S=1/2$ посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ, тогда как установления магнитного порядка в двумерных слоях с большим спином $S = 5/2$ практически не изучены. Такие структуры перспективны для поиска мультиферроэлектричества или взаимосвязанных магнитной и электрической подсистем и в первую очередь исследовались на предмет проводимости по щелочному металлу. Ключевой особенностью низкоразмерных сильно коррелированных соединений является наличие множества основных состояний. Так, в одномерных или двумерных спиновых структурах возникают экзотические состояния, обусловленные фрустрацией обменных магнитных взаимодействий. Такие экспериментальные факты, как высокотемпературная сверхпроводимость, вещества с колоссальным магнитосопротивлением, мультиферроики, необычные фазовые образования в составах с электронным и дырочным допированием, новые свойства веществ с пониженной размерностью, аномалии транспортных и магнитных свойств вблизи границ фазовых переходов, магнитокалорический эффект обуславливают поиск новых материалов для нанoeлектроники и спинтроники.

В связи с этим, проведенные Бухтеевым Кириллом Юрьевичем экспериментальные исследования соединений MnSnTeO_6 и в $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Li}_2\text{MnGeO}_4$, $\text{Ag}_2\text{MnSiO}_4$ и $\text{Na}_2\text{MnGeO}_4$ с магнитным ионом Mn^{2+} со спином $S = 5/2$, в низкоразмерных структурах с большими спинами и нулевым орбитальным моментом являются **актуальными** как в теоретическом, так и прикладном аспектах.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 101 страница, включая 65 рисунков, 14 таблиц и библиографию из 71 наименований.

В **первой** главе приведен короткий обзор структуры и магнитных свойств спиновых цепочек, фрустрированной двумерной квадратной решетки и фрустрированной треугольной решетки, обозначены задачи и цели диссертационной работы. Рассмотрены модели Изинга и Гейзенберга, модели низкоразмерных магнетиков на примере ионов меди в атакамите $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$, образующих пилообразный узор и азурита, $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, в которой реализуется модель искаженной алмазной цепочки. Рассмотрена цепочка типа зигзаг в соединении $\text{Ba}_2\text{Mn}(\text{PO}_4)_2$ и примеры двумерных магнитных материалов, которые, благодаря ультратонкой толщине демонстрируют сильное квантовое ограничение, приведен график температуры перехода и критических полей репрезентативных двумерных магнитных материалов. Описаны двумерные магнетики с треугольной решеткой спиновой конфигурации, в состав которых входят ионы Mn^{2+} .

Во **второй** главе описаны особенности регистрации магнитных свойств на установке Physical Property Measurement System PPMS 9, удельной теплоемкости и спектров магнитного резонанса. Представлена схема ЭПР-спектрометра, приведены особенности аппроксимации формы линии ЭПР. В разделе 2.5 приведены результаты характеризации поликристаллических

образцов A_2MnXO_4 ($A = Li, Na, Ag$; $X = Si, Ge$), указаны параметры кристаллической структуры изучаемых соединений.

Третья глава включает результаты оригинального исследования магнитной восприимчивости на постоянном и переменном токах поликристаллических образцов $MnSnTeO_6$ в двух полиморфных модификациях киральной и розианитной фаз. *Впервые* зарегистрированы низкоразмерные переходы при температурах ~ 10.5 К и ~ 9.8 К для данных фаз, соответственно. Из аппроксимации обратной температурной восприимчивости определены температуры Вейсса, который составили $\Theta \sim -46.1$ К и $\Theta \sim -20.7$ К, превышающие температуру упорядочения, что свидетельствует о фрустрации в спиновой системе. Магнитное поле спин-флоп перехода определено из первой производной намагниченности по полю. Проведены оценки магнитной энтропии. Температурные зависимости ширины линии ЭПР описывались с помощью двух моделей: критического уширения линии Кавасаки-Мори-Хубер и Березинского-Костерлица-Таулесса. Приведены результаты расчеты обменных интегралов из первых принципов для $MnSb_2O_6$.

В четвертой главе приведены результаты изучения двумерных антиферромагнетиков Li_2MnSiO_4 , Na_2MnSiO_4 , Li_2MnGeO_4 , Ag_2MnSiO_4 и Na_2MnGeO_4 , в которых ионы марганца находятся в изолированных тетраэдрах. Впервые показано наличие резкого пика в образцах Li_2MnSiO_4 , Na_2MnSiO_4 , Li_2MnGeO_4 и Na_2MnGeO_4 в температурной зависимости магнитной восприимчивости. Линейная аппроксимация обратной магнитной восприимчивости позволила получить величины температуры Кюри-Вейсса и параметров фрустрации, свидетельствующие о низкоразмерном характере обменных взаимодействий. Установлены зависимости температуры магнитного фазового перехода при вариации приложенного магнитного поля для Li_2MnSiO_4 . Определены значения магнитных полей спин-флоп перехода при 2К для изучаемых соединений. Из магнитного поля насыщения

проведена оценка величины обменных взаимодействий, которая составила $J \approx 3.5$ К.

На защиту вынесено три научных положения. Все выводы диссертации хорошо обоснованы и не вызывают возражений.

Научная новизна и достоверность защищаемых положений

Достоверность полученных данных подтверждается тщательной подготовкой и характеристикой образцов MnSnTeO_6 , $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Li}_2\text{MnGeO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnGeO}_4$, $\text{Ag}_2\text{MnSiO}_4$ выполнением калибровочных экспериментов, использованием современного оборудования, согласием с экспериментальными результатами других авторов и непротиворечивостью известным физическим моделям. Впервые установлены основные состояния, построены фазовые диаграммы в осях температура- магнитное поле новых синтезированных соединений MnSnTeO_6 , $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Li}_2\text{MnGeO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnGeO}_4$, что является несомненной новизной данной работы.

Практическая значимость работы

Развитое в диссертационной работе направление экспериментальных исследований основного состояния низкоразмерных структур с большими спинами $S = 5/2$ позволило получить новые данные о формировании основного состояния при взаимном влиянии магнитного и структурного порядка, фрустрации обменных магнитных взаимодействий, которое будет полезно при изучении новых низкоразмерных структур.

К важнейшим результатам диссертационной работы К.Ю. Бухтева можно отнести:

1. Посторение магнитной фазовой диаграммы в осях температура- магнитное поле для низкоразмерных соединений ионов марганца со спином $S=5/2$: MnSnTeO_6 , $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Li}_2\text{MnGeO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnGeO}_4$,
2. Доказательство формирования антиферромагнитных упорядоченных состояний в тетраэдрических низкоразмерных магнетиках MnSnTeO_6 , $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Li}_2\text{MnGeO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnGeO}_4$,

методами магнитометрии и удельной теплоемкости.

3. Выделение магнитного вклада в теплоемкость для образцов $\text{Na}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ и $\text{Li}_2\text{MnGeO}_4$ путем измерения диамагнитных аналогов, определение температур Дебая для изучаемых соединений.

Каждый из этих результатов обладает несомненной **научной новизной и является практически значимым.**

Вопросы и замечания:

1. В диссертации встречаются опечатки и неудачно подобранные выражения. Так, автор указал ошибочно единицу измерения эффективного магнитного момента стр. 20, количество d электронов указаны нижнем индексом стр.33., а теоретические расчеты обменных взаимодействий для MnSb_2O_6 формирующих магнитное основное состояние, показаны на рисунке 3.12.стр.57, однако на рисунке 3.12 приведены основные пути обменных взаимодействий в структуре MnSnTeO_6 .
2. На стр.66 автор приводит таблицу с основными параметрами магнитной системы, однако g- фактор, который используется для расчета эффективного момента только для $\text{Ag}_2\text{MnSiO}_4$ больше 2, а для остальных соединений меньше 2. Причина такого выбора эффективного g-фактора равного спиновому значению 2 минус отношение спин-орбиты к энергетическому интервалу не рассматривается в диссертации.
3. В диссертации было показано, что для соединения $\text{Ag}_2\text{MnSiO}_4$ антиферромагнитное упорядочение не наблюдалось до 2К, тогда как для образцов $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnSiO}_4$, $\text{Li}_2\text{MnGeO}_4$, $\text{Na}_2\text{MnGeO}_4$ установлены температуры Нееля. Причина понижения температуры упорядочения в $\text{Ag}_2\text{MnSiO}_4$ по сравнению с другими изоструктурными соединениями не обсуждается.

4. Решеточный вклад в теплоемкость для $\text{Li}_2\text{MnSiO}_4$ обрабатывался суммой функций Дебая и Эйнштейна с соответствующими коэффициентами $\theta_D=895 \text{ K}$, ($\alpha_D = 6.0$), $\theta_E = 215 \text{ K}$ ($\alpha_E = 1.9$). Физическая причина дробного значения коэффициента Эйнштейна не обсуждается.

Сделанные выше замечания никак не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Высокий уровень диссертации подтверждается высоким рейтингом журналов, в которых опубликованы статьи диссертанта. Публикации в научной печати полностью отражают основные результаты работы. В автореферате с достаточной полнотой изложено основное содержание диссертационной работы.

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:

Доктор физико-математических наук,

Доцент

Ведущий научный сотрудник Лаборатории радиоспектроскопии диэлектриков Казанского физико-технического института им.Е.К.Завойского – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук».

Еремина Рушана Михайловна



подпись

11 апреля 2024

Контактные данные:

тел.: 7(960)0460812, e-mail: REremina@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.11 – физика магнитных явлений

Адрес места работы:

420029, (Татарстан) г.Казань, ул Сибирский тракт, д.10/7,

КФТИ ОСП ФИЦ КазНЦ РАН

Тел.: +7 (843) 272 05 03; e-mail: phys-tech@kfti.knc.ru

Подпись Ереминой Р.М. заверяю

Главный ученый секретарь ФИЦ КазНЦ РАН

к.х.н.

11 апреля 2024 г.



Зиганшина С.А.