

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Васильчиковой Татьяны Михайловны
на тему: «Основное состояние низкоразмерных магнитных систем с
большими моментами»
по специальности 1.3.10 – «физика низких температур»**

Диссертационная работа Васильчиковой Татьяны Михайловны на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук направлена на установление основного квантового состояния магнитных систем с пониженной размерностью на базе ионов переходных металлов со спином $S = 5/2$.

Низкоразмерные материалы с участием переходных металлов находятся в фокусе современных исследований. Такие системы, включающие катионы щелочных и переходных элементов, активно проверяются на предмет использования в качестве электродов. Вопросы магнетизма слоистых соединений переходных элементов, затрагивающие проблемы неупорядоченного состояния и фрустрации, с одной стороны, а также формирования магнитоупорядоченного состояния, с другой стороны, являются важными для последующей разработки элементов магнитной записи информации. Слоистые материалы на базе катионов d- элементов с большими магнитными моментами проверяются на предмет возможности магнитного охлаждения. В диссертации Васильчиковой Т. М. затрагиваются практически все вышеперечисленные вопросы низкоразмерных материалов, что делает ее **актуальной и значимой**.

Структура диссертации Васильчиковой Т. М. является традиционной. Работа состоит из введения, обзора имеющихся в литературе данных для низкоразмерных систем, главы с описанием методик экспериментов, а также трех глав, где изложены результаты экспериментальных исследований автора

диссертации. Особо хочу отметить, что диссертант во второй главе аккуратно уточняет вклад в работу партнерских научных групп, которые выполнили теоретические расчеты и провели измерения методом мессбауэровской спектроскопии. Исходя из этого, можно сделать вывод, что **подавляющая часть экспериментальных результатов была собрана, обработана и интерпретирована лично автором работы.**

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы задачи исследования и дан анализ научной новизны проведенных исследований. Основной целью работы является установление квантовых основных состояний в новых низкоразмерных магнетиках с большими магнитными моментами. В этом разделе также дается информация об апробации работы и статьях, опубликованных по теме диссертации.

Обзор экспериментальных и теоретических работ, изложенный **в первой главе**, достаточно полный для того, чтобы у читателя сложилось впечатление о закономерностях формирования основных квантовых состояний в низкоразмерных системах. Очевидно, что трудно представить себе обзор, затрагивающий все полученные данные в столь активно развивающейся области современной науки. Однако, результаты для систем с определенной геометрией магнитных подсистем (спиновые цепочки, двумерные квадратные решетки и соединения с треугольной организацией магнитных ионов) автором обобщены основательно.

Экспериментальные методы и подходы к анализу полученных данных описаны **во второй главе**. Для своих исследований Васильчикова Т. М. использовала сертифицированное оборудование, позволяющее оперировать широким спектром методик: намагниченность, магнитная восприимчивость в постоянном и переменном поле, теплоемкость, электронный парамагнитный резонанс. Все измерения проводились в широком диапазоне температур и магнитных полей. Дополнительно, полученные экспериментальные

результаты сопоставлялись с результатами теоретических расчетов. **Именно такое комплексное экспериментальное исследование отобранных для настоящей работы образцов позволило получить новые, значимые результаты и гарантировало надежность основных выводов диссертации.**

В главах 3-5 собраны результаты экспериментальной работы диссертанта. Примечательно, что каждая из этих глав включает в себя последовательное и логичное изложение полученного материала. Так, **в третьей главе** докладываются статические и динамические магнитные характеристики для квазиодномерного спин-цепочечного соединения $\text{Na}_2\text{FeSbO}_5$. Из этих данных следует, что в этом магнетике не формируется дальний магнитный порядок при достижении температуры 2 К. Опираясь на результаты подробных исследований *ac* восприимчивости и электронного парамагнитного резонанса, автор делает заключение о спин-кластерном основном состоянии в $\text{Na}_2\text{FeSbO}_5$. **В четвертой главе** объединены данные для слоистого квазидвумерного соединения NaMnSbO_4 с квадратной подрешеткой магнитоактивных атомов Mn^{2+} . Было установлено, что температурная зависимость намагниченности проходит через характерный для низкоразмерных систем корреляционный максимум при температуре около 55 К. Аппроксимация полученных данных в рамках модели двумерной квадратной решетки позволила экспериментально оценить параметр обменного взаимодействия, который сравнивается с результатами теоретических расчётов. Характеризация магнитных свойств NaMnSbO_4 дополнена исследованиями теплоемкости и электронного парамагнитного резонанса. **В шестой главе** объединены результаты исследования двух слоистых соединений на базе смешанных теллуатов GdFeTeO_6 и GdGaTeO_6 со структурой типа розиаит. Интересно, что в этих системах магнитный отклик обусловлен как ионами Gd^{3+} так и Fe^{3+} в случае GdFeTeO_6 , и только

ионами Gd^{3+} в $GdGaTeO_6$. Сопоставление экспериментальных данных для этих изоструктурных соединений позволило автору оценить роль каждого типа магнитоактивных ионов в термодинамические магнитные характеристики вещества. Обнаружено, что $GdGaTeO_6$ не испытывает дальнего магнитного порядка вплоть до 2 К, а $GdFeTeO_6$ упорядочивается антиферромагнитно при $T = 2.4$ К. Также для $GdFeTeO_6$ было проведено магнетокалорическое исследование. Стоит отметить, что все магнетокалорические параметры, полученные Васильчиковой Т. М. для этого соединения, имеют достаточно хорошие значения, **что может быть интересно для практического использования.**

Наиболее значимыми научными результатами, полученными в настоящей работе, можно считать:

- обнаружение спин-кластерного основного состояния в Na_2FeSbO_5 , формирование которого обусловлено наличием дефектов и разрывов в зигзагообразных цепочках ионов железа Fe^{3+} .
- установление параметров обменного взаимодействия в слоистом двумерном магнетике $NaMnSbO_4$ с квадратной решеткой ионов марганца Mn^{2+} .
- заключение о скошенном антиферромагнитном основном состоянии в $NaMnSbO_4$.
- сопоставление магнитных характеристик двух изоструктурных теллуридов $GdFeTeO_6$ и $GdGaTeO_6$ с треугольной организацией магнитных подсистем.
- определение магнетокалорических параметров для $GdFeTeO_6$.

Результаты проведенных исследований опубликованы в международных рецензируемых журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Это безусловно подтверждает **обоснованность и достоверность** полученных результатов.

Диссертационная работа, выполненная Васильчиковой Т. М., является оригинальным и законченным научным исследованием, написана литературным языком, отличается ясностью и четкостью изложения результатов. Работа выполнена на высоком экспериментальном уровне, с привлечением разнообразных взаимно дополняющих друг друга методов исследования.

По представленной работе можно сделать следующие замечания.

1. В работе практически не представлены данные, характеризующие состав, чистоту и степень кристалличности изучаемых образцов.
2. Спин-кластерная модель, описывающая основное состояние $\text{Na}_2\text{FeSbO}_5$, предполагает наличие в этом соединении большого количества дефектов и обрывов железокислородных цепей. Было бы желательно подтвердить данный вывод с использованием рентгеновской дифракции или каких-либо других методов, помимо данных ЭПР и магнитной восприимчивости.
3. Было бы полезно измерить магнетокалорический эффект в GdFeTeO_6 напрямую, чтобы сравнить с оценками, сделанными из магнитных и тепловых свойств.
4. Помимо основных результатов, в конце работы хотелось бы видеть лаконичные выводы.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования, выполненного Васильчиковой Татьяной Михайловной. 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 Васильчикова Татьяна Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.10 – «физика низких температур».

Официальный оппонент:

доктор химических наук,
доцент,
профессор кафедры неорганической химии
химического факультета
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

Морозов Игорь Викторович

« ____ » _____ 2022 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 939 28 70, e-mail: morozov@inorg.chem.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

1.4.1 (02.00.01) – Неорганическая химия

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы д. 1, стр. 3

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
химический факультет

Тел.: +7 (495) 939 28 70; e-mail: morozov@inorg.chem.msu.ru

Подпись сотрудника И. В. Морозова удостоверяю: