

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Раганяна Григория
Вартановича на тему: «Низкоразмерный магнетизм в треугольных
решетках в теллуратах и антимонатах переходных металлов» по
специальности 1.3.10 – Физика низких температур.

Диссертационная работа Раганяна Григория Вартановича выполнена в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова и посвящена актуальной теме изучения низкоразмерного магнетизма и природы основного магнитного состояния в треугольных решетках теллуратов и антимонатов переходных металлов. Выяснению механизмов взаимодействия и упорядочения магнитных моментов в низкоразмерных – двумерных и квазиодномерных – системах отводится важное место в современной физике магнитных явлений и связанных с нею областей материаловедения, так как соединения с пониженной размерностью магнитной подсистемы часто демонстрируют уникальные квантовые свойства, в том числе – спиновые жидкости и киральные состояния.

В своем исследовании автор сфокусировался на фундаментальной проблеме, связанной с изучением особенностей формирования магнитного порядка в условиях геометрической фрустрации. Выбор антимонатов и теллуратов переходных металлов с различными типами магнитных моментов в качестве объектов исследования хорошо обоснован и предоставляет уникальную возможность для детального анализа эффектов магнитной анизотропии и фрустрации. Тематика работы учитывает и современные запросы на создание высокоэффективных материалов для информационных технологий, где магнитные состояния предполагается использовать для хранения и обработки данных. Таким образом, диссертация Г.В. Раганяна является не только важным фундаментальным исследованием, но интересна и с точки зрения перспективных приложений.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 95 страниц, включая 74 рисунка, 8 таблиц и список цитируемой литературы из 73 наименований.

В первой главе представлен детальный обзор моделей и механизмов, описывающих поведение спинов в треугольных решетках со спинами от $S=1/2$ до $S=5/2$. Обсуждены основные свойства и различия моделей Изинга и Гейзенберга, а также влияние одноионной анизотропии на квантовые состояния. В заключительной части раздела приведена таблица, резюмирующая основные примеры реализации двумерных кристаллических решеток.

Во второй главе описаны использованные в работе экспериментальные методики, включающие СКВИД-магнитометрию, вибрационные магнитометры, ЭПР-спектроскопию, а также измерения намагниченности в импульсных магнитных полях. Исследования магнитных свойств дополнены квазиadiaбатическим релаксационным методом измерения теплоемкости. В главе подробно описаны особенности синтеза и характеристики структуры исследуемых образцов. Методический раздел подчеркивает высокий уровень экспериментальной техники, применяемой в исследованиях.

В третьей главе детально рассмотрены структурные, магнитные и тепловые свойства киральной и некиральной модификаций MnSb_2O_6 . Проведен сравнительный анализ характеристик магнитных подсистем, определены точки магнитных фазовых переходов и восстановлены магнитные фазовые диаграммы. Автором выполнены оценки параметров основного состояния и величин обменных взаимодействий. Показано, что магнитный порядок в некиральной модификации формируется под влиянием двух обменных взаимодействий с доминирующим межслоевым обменом.

В четвертой главе рассмотрены свойства антимоноатов переходных металлов TSb_2O_6 ($T = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$). Описана связь между структурными особенностями и магнитными состояниями, проведена оценка эффектов

фрустрации. Автором установлено формирование антиферромагнитного состояния в CoSb_2O_6 и NiSb_2O_6 при температурах 11 и 20 К и отсутствие дальнего магнитного порядка вплоть до 1,5 К в CuSb_2O_6 , связанное с ослаблением межслоевого обмена.

В пятой главе анализируются особенности магнитных свойств четырех теллуридов марганца с различными катионами A_2MnTeO_6 ($\text{A}=\text{Li}, \text{Na}, \text{Ag}, \text{Tl}$). На основе результатов измерения намагниченности, теплоемкости и электронного спинового резонанса предложены модели магнитной структуры и магнитные фазовые диаграммы теллуридов, оценены величины обменных взаимодействий. Из оценки параметров модели критического уширения Кавасаки-Мория-Хубера сделан вывод о двумерном характере обменных корреляций в исследуемом семействе образцов.

Важным результатом работы является идентификация основного магнитного состояния с определением параметров магнитной подсистемы в двумерных треугольных решетках при вариации спинов в теллуридах и антимонатах переходных металлов. На защиту вынесено три научных положения. Все выводы диссертации хорошо обоснованы и не вызывают возражений.

Научная новизна и достоверность защищаемых положений

Научная новизна работы обусловлена следующим:

- 1) Проведен комплексный анализ магнитных свойств некиральной модификации MnSb_2O_6 , включая определение критических параметров фазовых переходов и магнитной анизотропии.
- 2) Изучены квантовые состояния антимонатов переходных металлов с различными магнитными моментами TSb_2O_6 ($\text{T} = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$), определены параметры обменных взаимодействий и магнитной анизотропии.
- 3) Исследованы свойства новых теллуридов марганца $\text{Li}_2\text{MnTeO}_6$ и $\text{Na}_2\text{MnTeO}_6$ – соединений со сложной динамикой магнитных корреляций и высокой степени фрустрации.

4) На основе экспериментальных данных и теоретических оценок разработаны модели магнитной структуры для исследуемых соединений.

Достоверность выводов подтверждена высокой точностью проведенных экспериментов, воспроизводимостью результатов, а также согласованностью оригинальных данных с известными результатами экспериментальных исследований и численных расчетов.

Практическая значимость работы

Работа Г.В. Раганяна имеет важное значение для направления физического материаловедения, связанного с разработкой элементов и устройств для магнитной записи, спинтроники и высокоэффективных сенсоров. Выполненные исследования дают информацию о механизмах формирования квантовых магнитных состояний, что может быть использовано для создания новых функциональных материалов. Полученные автором данные о магнитных фазовых переходах и спиновых корреляциях ближнего порядка могут быть использованы в численных расчетах и теоретических работах в качестве референсных значений.

К важнейшим результатам диссертационной работы Г.В. Раганяна можно отнести следующие положения:

1) Для некиральной модификации MnSb_2O_6 на основе измерения критических температур, обменных взаимодействий и магнитной анизотропии впервые идентифицировано основное состояние с двумерным антиферромагнитным порядком.

2) Для антимонатов TSb_2O_6 ($T = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$) построены магнитные фазовые диаграммы и предложены модели магнитного упорядочения.

3) Впервые описаны особенности магнитного упорядочения в теллуратах марганца A_2MnTeO_6 ($A = \text{Li}, \text{Na}, \text{Ag}, \text{Tl}$), включая оценку степеней фрустрации.

4) Выработан подход к совместному описанию экспериментальных данных (магнитные свойства, теплоемкость, спектры ЭПР) и теоретических расчетов для создания целостной картины низкоразмерного магнетизма.

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

К сожалению, по итогам ознакомления с работой Г.В. Раганяна возник ряд замечаний:

1) Автор несколько неудачно сформулировал защищаемые положения, ограничившись констатацией переходов в основное антиферромагнитное состояние с упоминанием структуры магнитного порядка только для теллуридов лития и натрия.

2) В работе использованы термины «квантовое магнитное состояние» и «квантовое основное состояние» без объяснения различия между этими понятиями.

3) В русскоязычном тексте использованы англоязычные единицы физических величин (Т вместо Тл, g вместо г, J вместо Дж; и т.д.).

4) В подписи на рис.2.5 указан палладий, тогда как в условных обозначениях на самом рисунке указана платина.

5) Отсутствие дальнего порядка в антимонате меди CuSb_2O_6 автором связывается с ослаблением межслоевого обмена (стр.72). Между тем, значительное уширение рефлексов на рентгенограмме в сравнении с антимонатами никеля, цинка и кобальта (рис.2.8) указывает на сильный беспорядок в этом соединении меди, что, в свою очередь, может инициировать квантовое критическое поведение с подавлением антиферромагнитного обмена и переходом в состояние с близкой к нулю парамагнитной температурой Кюри ниже 20 К (см. рис.4.2).

6) Формула (3.3) для расчета эффективного магнитного момента ошибочно содержит n (число магнитных центров) под знаком корня (стр.53).

7) В числителе и знаменателе формулы (3.7), использованной для перенормировки температуры Дебая, для слагаемых с массами цинка и марганца ошибочно указаны коэффициенты 9 (стр.57).

8) Параметры модели Мори-Кавасаки-Хубера (3.13), используемой для описания температурной зависимости ширины линии магнитного резонанса,

для полиморфных модификаций $MnSb_2O_6$ практически одинаковы, в то время, как сами значения ΔB при температуре Нееля различаются практически на порядок (54 мТл для модификации P31m и 500 мТл для модификации P321, см. рис.3.7.).

9) В разделе 5.5 указано, что «Оценка интегралов обменного магнитного взаимодействия из первых принципов была выполнена для A_2MnTeO_6 , где $A=Li, Na$ ». Между тем, в тексте диссертации не приводятся сведения об использованной методике первопринципных расчетов.

10) Анализируя ЭПР спектры теллуриатов, автор отмечает, что «...увеличение критической экспоненты указывает на двумерный характер обменных корреляций в исследуемом семействе образцов» (стр.82). Это утверждение несколько противоречит заключительной части вывода 5, в которой указано, что критические экспоненты 0.90 и 0.85 характерны для магнитных систем с размерностью близкой к 3D (стр.87).

Вышеуказанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы и не уменьшают ее значимости. Высокий уровень диссертации подтверждается соответствующими публикациями диссертанта в научных журналах с высоким рейтингом. Основные результаты диссертации доложены на всероссийских и международных научных конференциях по тематике исследований. В автореферате содержательно и полно изложены ключевые положения диссертации.


Диссертация отвечает всем 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. Текст диссертации оформлен согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что соискатель **Раганян Григорий Варганович** несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.10 – Физика низких температур.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
заместитель директора по научно-организационной работе,
ВРИО заведующего отделом низких температур и криогенной техники
ФГБУН Федерального исследовательского центра «Институт общей физики
им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)

Глушков Владимир Витальевич


10 декабря 2024 года

Контактные данные:

тел.: раб. +7(499)5038775, моб. +7(910)4550297, e-mail: glushkov@lt.gpi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена

диссертация:

1.3.8 (01.04.07) – Физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

119991 Москва, ул. Вавилова, 38

Подпись Глушкова В.В. удостоверяю:

Заместитель директора ИОФ РАН
по научной работе


Кочиев Д.Г.

10.12.2024