

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 посвящена исследованию магнитных свойств двумерных треугольных решеток в теллуратах и антимонатах переходных металлов. Актуальность работы обусловлена интересом к низкоразмерным магнитным системам, в которых конкуренция обменных взаимодействий приводит к формированию экзотических магнитных состояний.

Особое значение в работе уделено применению экспериментальных подходов к исследованию спиновой динамики и её влияния на фазовые переходы в сложных магнитных структурах. Это позволяет не только углубить понимание поведения низкоразмерных магнитных систем, но и определить ключевые параметры для разработки новых материалов с заданными характеристиками.

Кроме того, двумерные магнетики открывают перспективы в области спинтроники, где можно разрабатывать более энергоэффективные устройства для обработки и передачи информации. Они также являются важным инструментом для фундаментальных исследований, позволяя изучать природу взаимодействий в сильно коррелированных системах, а также тестировать теоретические модели, ранее недоступные для проверки в экспериментах.

Структура диссертации

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

Первая глава представляет собой литературный обзор, в котором рассмотрены модели Изинга и Гейзенберга, а также особенности магнетизма в двумерных треугольных решетках с различными спинами.

Проанализированы известные на момент написания диссертации результаты по соединениям с треугольной магнитной подсистемой.

Вторая глава посвящена описанию методик эксперимента. Подробно рассмотрены принципы работы СКВИД-магнитометра, вибрационного магнитометра, методики измерения теплоемкости и электронного парамагнитного резонанса. Также описаны методики синтеза исследованных образцов.

Третья глава посвящена изучению низкоразмерного антиферромагнетизма в некиральной модификации MnSb_2O_6 . Установлено формирование магнитоупорядоченного состояния ниже 8 К, определены параметры магнитной подсистемы. Проведен сравнительный анализ киральной и некиральной модификаций.

Четвертая глава рассматривает низкоразмерный антиферромагнетизм в антимонатах переходных металлов TMSb_2O_6 ($\text{TM} = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$). Показано формирование антиферромагнитно упорядоченного состояния в CoSb_2O_6 и NiSb_2O_6 , в то время как CuSb_2O_6 остается парамагнитным вплоть до 2 К. Проанализирована взаимосвязь структуры и свойств в данном семействе соединений.

Пятая глава посвящена изучению низкоразмерного антиферромагнетизма в теллуратах A_2MnTeO_6 ($\text{A} = \text{Li}, \text{Na}, \text{Ag}, \text{Tl}$). Установлено формирование антиферромагнитно упорядоченного состояния во всех исследованных соединениях, построены магнитные фазовые диаграммы. Предложены модели магнитной структуры для $\text{Li}_2\text{MnTeO}_6$ и $\text{Na}_2\text{MnTeO}_6$.

Основные результаты формулируются в сжатом виде в качестве семи выводов. Далее следует список цитируемой литературы и Заключение. На защиту вынесено три научных положения. Все выводы диссертации хорошо обоснованы и не вызывают возражений.

Научная новизна и достоверность защищаемых положений

Научная новизна работы заключается в систематическом исследовании двумерных треугольных решеток с различными спинами и магнитной анизотропией в семействах антимонатов переходных металлов и теллуратов марганца и одновалентных ионов. Впервые установлены параметры основного

состояния в некиральной модификации MnSb_2O_6 , антимонатах переходных металлов TMSb_2O_6 ($\text{TM}=\text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$) и теллуратах A_2MnTeO_6 ($\text{A}=\text{Li}, \text{Na}, \text{Ag}, \text{Tl}$). Проведен сравнительный анализ киральной и некиральной модификаций MnSb_2O_6 , а также взаимосвязи структуры и свойств в семействе антимонатов переходных металлов. Впервые построены магнитные фазовые диаграммы для $\text{Li}_2\text{MnTeO}_6$ и $\text{Na}_2\text{MnTeO}_6$, предложены модели их магнитной структуры.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных экспериментальных методик, качественных образцов, воспроизводимостью результатов и согласием с данными численных расчетов и литературными сведениями.

Практическая значимость работы

Расширение круга соединений, в которых реализуются двумерные треугольные решетки с различными спинами, имеет фундаментальную важность для понимания формирования основного магнитного состояния двумерных систем. Результаты диссертационной работы вносят вклад в развитие представлений о низкоразмерном магнетизме и могут быть использованы при создании новых функциональных материалов для элементов магнитной записи и хранения информации.

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

- 1) Проведение детального анализа магнитных свойств MnSb_2O_6 . Выявление того, что его некиральная модификация демонстрирует антиферромагнитное упорядочение ниже $T_N = 8$ К, а сравнение с киральной модификацией показало их структурное и магнитное сходство.
- 2) Исследование антимонатов CoSb_2O_6 , NiSb_2O_6 и CuSb_2O_6 . Установление того, что CoSb_2O_6 и NiSb_2O_6 проявляют антиферромагнитное упорядочение ниже $T_N = 11$ и 20 К, соответственно, в то время как CuSb_2O_6 остается парамагнитным вплоть до 2 К.
- 3) Изучение теллуратов A_2MnTeO_6 ($\text{A} = \text{Li}, \text{Na}, \text{Ag}, \text{Tl}$). Выявление того, что $\text{Li}_2\text{MnTeO}_6$ и $\text{Na}_2\text{MnTeO}_6$ демонстрируют 120-градусное магнитное упорядочение ниже $T_N = 8.5$ и 5.5 К, соответственно. Построение

фазовых диаграмм, предложение модели для объяснения магнитных взаимодействий.

- 4) Получение новых данных по магнитным фазовым переходам и корреляциям в низкоразмерных системах.

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

Следует отметить, что изложение ведется лаконично и последовательно, экспериментальные результаты даются с максимально возможной полнотой. К плюсам следует отнести четкое описание вклада соискателя в проделанную работу. Важным является тот факт, что измерения намагниченности и теплоемкости выполнены лично соискателем в соответствии с заявленной целью исследования. В обзоре литературы широко освещен ряд магнетиков с двумерной треугольной решеткой, содержащих ионы переходных металлов, входящие в состав исследуемых соединений. Это позволяет оценить уровень новизны и научной значимости работы. Выбор объектов является обоснованным и логичным. Определение основного магнитного состояния требует измерений не только при низких и сверхнизких температурах, но и в условиях сильных магнитных полей. Именно с такая задача решалась при установлении параметров магнитной подсистемы в антимонатах и теллуратах марганца MnSb_2O_6 , $\text{Li}_2\text{MnTeO}_6$, $\text{Na}_2\text{MnTeO}_6$, для которых были выполнены измерения в импульсных магнитных полях и определены поле спин-флопа, спин-флипа и поле анизотропии.

В целом диссертация Раганяна Г.В. представляет собой неординарный пример успешного сочетания комплекса экспериментальных и теоретических методов, которые в совокупности позволили выполнить завершённое исследование, начиная с описания синтеза образцов, их структурной характеристики, через прецизионные измерения термодинамических свойств и теоретические расчеты интегралов обменных взаимодействий, до построения законченного описания основного магнитного состояния.

К содержанию работы имеются следующие **вопросы и замечания:**

1. В импульсных магнитных полях момент насыщения некиральной (P31m) и киральной (P321) фаз MnSb_2O_6 хоть и близок к $5\mu_B/\text{f.u.}$ (стр. 55, рис.3.4),

но демонстрирует заметную разницу в абсолютных значениях. С чем, по мнению соискателя, это может быть связано?

2. Известно, что ион Co^{2+} обладает большой одно-ионной анизотропией. Проводились ли оценки магнитной анизотропии в ряду антимоанатов переходных металлов в целом и CoSb_2O_6 в частности?
3. Понижение температура Нееля в теллурате Ag^+ по сравнению с изоструктурными соединениями Li^+ и Na^+ приписано большому ионному радиусу первого. В тоже время, различия в ионных радиусах Na^+ и Ag^+ гораздо меньше, чем Na^+ и Li^+ . Высокая электроотрицательность серебра может повлиять на химическую связь между слоями и быть причиной изменения температуры магнитного перехода. В связи с этим, было бы интересно сравнить интегралы косвенных обменных взаимодействий в $\text{Na}_2\text{MnTeO}_6$ с таковыми в $\text{Ag}_2\text{MnTeO}_6$.
4. В тексте диссертации имеются опечатки (впрочем, их немного) и неудачные выражения типа «обмен J2 зафрустрирован» (стр.63); на стр. 22, рис.1.14 вместо фразы «октаэдры NbO_6 » указано «октаэдры NiO »; на стр. 76, при описании порядка фрустрации в формуле допущена ошибка $f = T_N/\theta$ вместо $f = \theta/T_N$; имеется ряд грамматических ошибок в виде пропущенных предлогов.

Вышеуказанные замечания не оказывают влияния на общую положительную оценку диссертационной работы Раганяна Г.В., которая содержит большое количество результатов фундаментального характера, значение которых со временем будет только возрастать.

Высокий уровень диссертации подтверждается соответствующими публикациями диссертанта в научных журналах с высоким рейтингом, результаты прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях.

Автореферат полно отражает основное содержание диссертации и характеризует результаты проведенных исследований.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

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.

Соискатель **Раганян Григорий Варганович** безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.10 Физика низких температур.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
Ведущий научный сотрудник лаборатории Физики магнитных явлений
Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Казак Наталья Валерьевна

«5» декабря 2024

Контактные данные:

тел.: 8(391)243-26-35, e-mail: nat@iph.krasn.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 38

Подпись ведущего научного сотрудника
лаборатории Физики магнитных явлений
Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского
отделения Российской академии наук –
обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН
Казак Н.В. удостоверяю

Ученый секретарь ИФ СО РАН,
кандидат физ.-мат. наук

А.О. Злотников