

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию А.Н. Коршунова “Кристаллическая структура и спиновый порядок в квазидвумерных оксидах переходных металлов с сотообразной геометрией”, представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Актуальность темы.

Научной темой диссертационной работы А.Н. Коршунова является низкоразмерный магнетизм, реализующийся в некоторых квазидвумерных оксидах переходных металлов. В качестве объектов исследования выбраны представители сложных оксидов с сотообразной магнитной решеткой, в частности, типа $A_3Co_2SbO_6$ ($A = Na, Li$). Изучение структурных и магнитных свойств соединений этого типа началось совсем недавно, фактически в 2010-х годах, и сведения о них, представленные в диссертации, являются пионерскими. Адекватные модели магнитной структуры такого рода соединений, также появились только в 2000-х годах. Более того, слоистые соединения на основе лития и кобальта в настоящее время являются основными материалами для электродов в литий-ионных аккумуляторах и идет исключительно активный поиск оптимизации их электрохимических свойств путем вариации атомного состава. Соответственно, нет сомнений, что работа А.Н. Коршунова является весьма актуальной как с общенаучной, так и с практической точек зрения. Кроме того, следует отметить, что работа А.Н. Коршунова выделяется своей систематичностью, глубиной анализа полученных результатов и сделанных на их основе выводов.

Структура диссертации.

Диссертация написана по традиционной схеме, состоит из Введения, обзорной и трех содержательных глав, Заключения и Списка литературы.

Как это принято, во Введении обсуждена актуальность выполненной работы, сформулированы ее цели и задачи. Пояснены степень разработанности и новизны заявленной научной темы, ее теоретическая и практическая значимость. Приведены положения, выносимые на защиту, и описана структура и содержание работы.

В первой (обзорной) главе сначала приведены общие сведения о магнетизме и магнитных взаимодействиях в кристаллах. Затем дан обзор имеющихся достижений в области низкоразмерного магнетизма и теоретических моделей формирования магнитных структур в слоистых системах. Интересным является параграф о фрустрациях различной природы (геометрической или обменной). Показано, что именно они могут быть причиной формирования нестандартных состояний, одним из которых может быть квантовая спиновая жидкость. В этой же главе приведены основные сведения о квазидвумерных магнетиках со специфической “сотовой” решеткой. В целом, приведенный обзор ситуации с низкоразмерным магнетизмом производит очень хорошее впечатление, прежде всего, тем, что автору удалось из безбрежного моря имеющихся результатов, статей и моделей отобрать и грамотно изложить необходимые сведения.

Следующая (вторая) глава посвящена описанию методов, с помощью которых были получены экспериментальные данные для последующего анализа, и особенностям синтеза объектов исследования. Основной материал диссертации – анализ особенностей формирования ближнего и дальнего магнитного порядка в изученных соединениях – представлен в третьей и четвертой главах. Не разбирая подробно содержание каждой из этих глав, отметим только некоторые специфические моменты.

Для анализа атомной и магнитной структур автор использует как нейтронные, так и синхротронные данные, причем как те, так и другие были получены на современных дифрактометрах в ведущих научных центрах. Комплементарность нейтронных и синхротронных данных способствовала установлению многих ключевых фактов, позволивших правильно разрешить имеющиеся вопросы. Например, именно в синхротронных дифракционных спектрах высокого разрешения удалось наблюдать расщепление пиков в $\text{Li}_3\text{Ni}_2\text{SbO}_6$, что однозначно позволило установить истинную симметрию структуры этого соединения. Из нейтронных данных, полученных на специализированном дифрактометре G4.1 в LLB, был сделан интересный вывод о наличии определенного наклона спинов ионов Ni^{2+} в упорядоченном состоянии и изменении этого наклона с температурой. Успех анализа атомной структуры изученных соединений, содержащих, в частности, легкие ионы лития, в значительной степени способствовала совместная обработка нейтронных и синхротронных дифракционных спектров. Важными для формирования общей картины процессов, происходящих в изученных соединениях, оказались результаты, полученные с использованием рассеяния

поляризованных нейтронов. Результаты дифракционных экспериментов хорошо дополняют данные макроскопических измерений магнитной восприимчивости и теплоемкости, спектры поглощения ЭПР и др., привлеченные А.Н. Коршуновым для совместного анализа.

Грамотно осуществлен выбор объектов исследования – сложных слоистых оксидов с разнообразными замещениями. Их, с одной стороны, сравнительно немного, но, с другой стороны, вполне достаточно чтобы выявить некоторые общие закономерности и проследить их эволюцию.

Математическая обработка результатов экспериментов выполнена на современном уровне с привлечением необходимых компьютерных программ. Автор продемонстрировал хорошее владение их как традиционными, так и некоторыми нетривиальными возможностями. Например, для анализа вариантов возникающих магнитных структур, им привлечен аппарат неприводимых представлений кристаллографических групп. В некоторых случаях удалось определить форму областей магнитного когерентного рассеяния.

Нельзя не отметить хорошие язык и стиль изложения в работе А.Н. Коршунова, а также полное отсутствие опечаток и жаргонных выражений. Диссертация хорошо иллюстрирована, за малым исключением, рисунки ясные и снабжены полными и понятными подписями. Приводимые в многочисленных таблицах экспериментальные данные (параметры ячейки, координаты атомов и т.д.) даны с их ошибками, что позволяет оценить качество проведенных экспериментов. Список цитируемой литературы весьма обширен (105 ссылок), что говорит о хорошем владении материалом. Успеху в решении поставленных задач способствовал удачный выбор партнеров, обеспечивших синтез образцов и макроскопические измерения, хотя, наверно, это в основном заслуга научного руководителя.

Научная новизна полученных результатов.

В диссертации А.Н. Коршунова четко сформулирована цель работы, состоящая в изучении особенностей формирования дальнего магнитного порядка в ряде новых слоистых квазидвумерных магнетиков, и задачи из нее следующие. Решение поставленных задач позволило впервые получить ряд новых нетривиальных научных результатов. К ним, в частности, относятся новые данные о деталях атомных структур

изученных соединений, включающие правильное определение кристаллографической симметрии и набор атомных координат. Впервые найдено антиферромагнитное упорядочение типа “зигзаг”. Впервые получена зависимость спиновой корреляционной функции от расстояния между магнитными атомами и прослежена ее температурная эволюция в соединении $\text{Na}_2\text{Ni}_2\text{TeO}_6$.

Степень достоверности результатов работы.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Она обусловлена разнообразием использованных экспериментальных методов и их комплементарностью, что существенно повысило надежность полученных результатов и помогло в их интерпретации. Анализ экспериментальных данных выполнен с использованием современных программ обработки, полученные результаты сопоставлены с данными моделирования, и данными других экспериментальных методов. Результаты работы опубликованы в высокорейтинговых российских и зарубежных научных изданиях и многократно доложены на конференциях и семинарах.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы.

Необходимо отметить, что теоретический анализ магнитного состояния вещества на атомном уровне является одной из наиболее сложных физических тем, поскольку требует применения весьма изощренных квантово-механических приемов. С этой точки зрения, результаты работы А.Н. Коршунова исключительно важны для современной теории низкоразмерного магнетизма, построения соответствующих моделей и их экспериментальной проверки. Нет сомнений, что результаты его работы будут использованы для анализа общих механизмов и принципов формирования дальнего магнитного порядка в системах с пониженной размерностью.

Замечания по диссертационной работе.

Возникшие по ходу чтения диссертации немногочисленные вопросы и замечания носят в основном редакционный характер. Не перечисляя их все, отметим, что встречаются неудачные формулировки. Например, “спины атомов, расположенные на периодической кристаллической решетке” (стр. 12.). Встречаются неясные места. Например, из рис. 1.8. и подписи к нему трудно понять, чем же отличаются разные типы

упаковки. На стр. 17 утверждается, что на треугольной решетке у каждого спина имеются три тождественных соседа, тогда как их вроде бы шесть. Регулярно используется выражение “эффективный магнитный момент”, хотя общепринятым является термин “упорядоченный магнитный момент”. На рис. 1.10(b) приведены интересные результаты, но их описание неудовлетворительно. На стр. 41 утверждается, что обнаружено расщепление дифракционных пиков в $\text{Li}_3\text{Ni}_2\text{SbO}_6$, но, конечно, его надо было как-то изобразить. В формуле 4.2 не хватает одной скобки. На стр. 108 утверждается, что в диссертации использовано “Уникальное сочетание комплементарных методов...”, хотя совместный анализ нейтронных и синхротронных данных уже давно не уникален, а привлечение макроскопических методов вполне естественно. На стр. 84 правильно написано “брэгговские пики”, но на стр. 97 уже написано “Брэгговские пики”, что противоречит правилам русского языка. Классическая опечатка сделана на стр. 46 “важное значение играют”, хотя, как известно, играют роль, а значение имеют. Небрежность допущена в Оглавлении, где символы некоторых элементов обозначены заглавными буквами.

Из содержательных замечаний выделю только два. (1) При перечислении новых результатов объявлено, что “Обнаружено наличие диффузного магнитного рассеяния нейтронов на $\text{Na}_2\text{Ni}_2\text{TeO}_6$ выше температуры Нееля”. В принципе, это ожидаемый результат. (2) На рис. 4.5b приведены графики профилей некоторых дифракционных пиков и говорится, что они демонстрируют “анизотропное уширение”. Но, судя по картинке, это что-то более сложное, чем анизотропное уширение и явно необходим более тщательный анализ этого эффекта.

Также, с сожалением вынужден отметить, что ни в диссертации, ни в автореферате я не нашел каких-либо слов о личном вкладе их автора.

Заключение.

В целом, можно констатировать, что диссертационная работа А.Н. Коршунова выполнена на весьма высоком научном уровне. Сделанные замечания не снижают ценности полученных в работе результатов, научная новизна которых совершенно очевидна, так же как уже упоминавшиеся оригинальность, практическая значимость и общий большой вклад в тему низкоразмерного магнетизма. Основные результаты диссертационной работы полно и своевременно опубликованы в высокорейтинговых

научных журналах, многократно доложены на российских и международных конференциях.

Основываясь на вышесказанном, считаю, что диссертационная работа А.Н. Коршунова “Кристаллическая структура и спиновый порядок в квазидвумерных оксидах переходных металлов с сотообразной геометрией” является актуальной и законченной научно-исследовательской работой. По актуальности темы, объему и достоверности экспериментальных результатов, глубине и значимости выводов эта работа полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. А.Н. Коршунов безусловно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Доктор физ.-мат. наук (01.04.07 – физика твердого тела), профессор,
главный научный сотрудник Лаборатории нейтронной физики имени И.М. Франка
Объединенного института ядерных исследований
141980 г. Дубна, Моск. обл. ул. Жолио-Кюри, 6
e-mail: bala@nf.jinr.ru



/Балагуров Анатолий Михайлович/

24.09.2020.

"Подпись д.ф.-м.н., проф. А.М. Балагурова заверяю"
Ученый секретарь ЛНФ имени И.М.Франка, ОИЯИ
кандидат физ.-мат. наук



/Худоба Дорота Марта/