

## О Т З Ы В

официального оппонента, кандидата физико-математических наук Кугеля Климента Ильича на диссертационную работу Козляковой Екатерины Сергеевны "Особенности магнитного упорядочения в новых соединениях с катионами железа", представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.09 - физика низких температур

Физика низкоразмерных соединений (квазиодномерных и квазидвумерных) привлекает в настоящее время значительный интерес исследователей. Появляются новые журналы, посвященные исключительно этой проблематике, а журналах более общего профиля возникают соответствующие разделы. Регулярно проводятся крупные международные конференции и школы по низкоразмерной физике. Пристальное внимание к низкоразмерным системам связано с существенным вкладом квантовых эффектов в их термодинамику и кинетику, приводящих к богатой и разнообразной фазовой диаграмме и множеству необычных характеристик. Фактически, исследование низкоразмерных систем, особенно в низкотемпературной области, оказывается принципиально важным для большинства областей физики конденсированного состояния, включая магнетизм, сверхпроводимость и нелинейные процессы. В ряду исследуемых соединений ведущее место занимают низкоразмерные магнетики. Существенная особенность этих материалов состоит в тесной взаимосвязи их магнитных и структурных характеристик, привлекающей к ним интерес как с точки зрения фундаментальной физики, так и возможных приложений. За прошедшие годы вышло огромное число статей, охватывающих, казалось бы, все аспекты проблем, связанных с этими материалами. Тем не менее проблемы, связанные с магнетиками на основе железа, оказались изученными далеко не в полной мере. В особенности это касается соединений, где железо находится в валентном состоянии, отвечающим спину, большему единицы. Одним из существенных достоинств диссертационной работы Е.С. Козляковой является выбор в такой актуальной области новых до сих пор не исследованных низкоразмерных магнетиков и тщательный экспериментальный и теоретический анализ физических свойств данного класса материалов.

Поэтому несомненна актуальность и практическая ценность поставленной в диссертационной работе Е.С. Козляковой задачи комплексного исследования взаимосвязи магнитных, тепловых и структурных характеристик достаточно широкого класса новых низкоразмерных магнитных материалов, важных и для приложений, в частности, в

микроэлектронике. Не вызывает сомнения и новизна результатов, полученных Е.С. Козляковой. Фактически, речь идёт о пионерских результатах, выявляющих важнейшие физические характеристики перспективных, но до сих пор не изученных соединений.

Перейдём теперь к более подробному рассмотрению содержания диссертации. Прежде всего, отметим, что она написана ясно и лаконично, наиболее важные результаты чётко выделены и подробно обсуждаются в конце соответствующих разделов.

Во Введении ясно формулируется цель работы и решаемые в ней задачи, указывается, в чём состоит их новизна, актуальность и практическая ценность, а также приводятся положения, выносимые на защиту. Тут, правда несколько смущает отсутствие в перечне пунктов, характеризующих научную новизну работы, упоминания об оксоселениде железа, исследованию которого посвящена глава 4.

Литературный обзор представлен в главах 1 и 2, где весьма обстоятельно характеризуются особенности магнитной и кристаллической структуры ряда малоизученных низкоразмерных магнетиков на основе железа с особым упором на характеристику конкретных систем и свойств, изучаемых в диссертации. На основе такого обзора выявляются нерешённые задачи и обосновываются направления исследований, описываемых в диссертации. Однако мне кажется, что тут можно было ограничиться материалом, излагаемым в главе 2, поскольку в первой главе описываются в основном материалы, имеющие к теме диссертации только весьма косвенное отношение.

Третья глава содержит детальное описание методик определения химического состава и кристаллической структуры образцов, а также исследуемых физических характеристик. Тут следует особо подчеркнуть широкий диапазон физических исследований, проведенных на большом числе экспериментальных установок, что характеризует Е.С. Козлякову как квалифицированного физика-экспериментатора, прекрасно владеющего современной методикой эксперимента. Описана также оригинальная методика роста кристаллов халькогенидов железа, на которую автором диссертации даже получен патент. К сожалению, подробности получения других образцов разбросаны по соответствующим главам диссертации, что делает эту методическую главу несколько урезанной.

Глава 4 посвящена подробному изучению магнитных характеристик и теплоёмкости оксоселенида железа с использованием, как порошковых, так и монокристаллических образцов. Это соединение обладает весьма своеобразной магнитной структурой (пилообразные магнитные цепочки) и представляет несомненный интерес для физики низкоразмерных магнетиков, однако оно до сих пор фактически не исследовалось.

Поэтому описанные в этой главе результаты можно отнести к пионерским. Особо тут следует отметить тщательный анализ экспериментальных данных с использованием результатов первопринципных расчётов, что позволило показать, что низкотемпературная магнитоупорядоченная фаза является ферромагнитной с неколлинеарной ориентацией спинов ионов железа. Интересным результатом является и скачкообразное изменение магнитной восприимчивости при переходе системы в упорядоченное состояние (см. рис. 24). Однако этот яркий эффект практически не отражается на поведении теплоёмкости. Этот вопрос следовало бы обсудить. И одно техническое замечание: на рис. 24 не указано, какая кривая получена при охлаждении в поле, а какая без поля, а в подписи к рис. 27 вообще не указан режим охлаждения.

Глава 5 посвящена ещё одному практически не изученному магнитному материалу – смешанному фосфату железа. Это вещество характерно тем, что в его кристаллической структуре присутствуют сравнительно большие полости, в которые могут быть помещены ионы щелочных металлов. В диссертации описывается фосфат железа, интеркалированный натрием, что позволило существенным образом влиять на магнитные характеристики исследуемой системы. И действительно, автором проведён анализ величины и знака имеющихся в системе магнитных взаимодействий и впервые на эксперименте выявлено существование двух магнитных фазовых переходов, сначала в коллинеарное антиферромагнитное состояние, а затем с понижением температуры в неколлинеарное. Внедрение же сравнительно небольшого количества ионов натрия в полости кристаллической структуры смешанного фосфата привело к подавлению одного из фазовых переходов и смещению температуры Нееля. Этот важный результат указывает на возможность эффективного управления магнитными характеристиками низкоразмерных антиферромагнетиков за счёт слабого допирования. Следовало бы тут, однако, уточнить, какое именно упорядочение возникает при допировании, коллинеарное или неколлинеарное.

Ещё один важный и интересный низкоразмерный магнетик – молибдат таллия-железа описывается в главе 6. Автору удалось выявить два близколежащих магнитных фазовых перехода (отстоящих друг от друга всего на 0.5 К) и проследить их эволюцию под действием приложенного магнитного поля. С использованием данных мёссбауэровской спектроскопии и первопринципных расчётов удалось показать, что низкотемпературная фаза представляет собой трёхмерный антиферромагнетик, а фаза в узком температурном интервале между двумя точками Нееля обладает более сложным строением, интерпретируемым как коллинеарная волна спиновой плотности. Но тут было

бы желательным уточнить, чем такая волна отличается от обычного антиферромагнетика.

Результаты главы 7 касаются магнитных и сверхпроводниковых характеристик монотеллурида железа, допированного серой и селеном. В свете того, что селенид железа является очень популярным железосодержащим сверхпроводником, представленные исследования монокристаллических образцов в халькогенидов железа в широком интервале составов и обнаружение в них как магнитных, так и сверхпроводящих переходов представляет собой существенный вклад в физику железосодержащих сверхпроводников, имеющий также и важное прикладное значение. Жаль только, что не удалось достаточно точно вариировать стехиометрию по железу.

Приведённые выше замечания имеют в основном технический и рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации, которая представляет собой законченное комплексное исследование, посвящённое актуальным проблемам физики конденсированного состояния и выполненное на высоком научном уровне.

Достоверность полученных результатов подтверждается адекватным выбором методики эксперимента, подробным исследованием влияния различных факторов на чувствительность экспериментальных установок, тщательным анализом экспериментальных данных на основе теоретических моделей и существующих численных расчетов. Отличительной чертой диссертационной работы является выбор новых до сих пор не исследованных низкоразмерных магнитных материалов, что открывает новые перспективы в этой актуальной области.

Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в научных журналах, соответствующих п. 2.3 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, и доложены на многочисленных российских и международных конференциях. Автореферат полно и правильно отражает содержание и результаты диссертации.

По объёму и оригинальности полученных результатов, достоверности, научной и практической ценности диссертационная работа "Особенности магнитного упорядочения в новых соединениях с катионами железа" удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, а её автор Козлякова Екатерина Сергеевна несомненно заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.09 - физика низких температур.

Официальный оппонент  
ведущий научный сотрудник лаборатории теоретической  
электродинамики конденсированных сред,  
ФГБУН Институт теоретической  
и прикладной электродинамики РАН  
к. ф.-м. н.

Климент Ильич Кугель

125412 Россия, г. Москва, ул. Ижорская 13, ИТПЭ РАН  
тел: 8 495 3625147, e-mail: klimkugel@gmail.com

"Подпись К.И. Кугеля удостоверяю"  
Учёный секретарь ИТПЭ РАН  
к. ф.-м. н.

А.Т. Кунавин

125412 Россия, г. Москва, ул. Ижорская 13, ИТПЭ РАН  
тел: 8 495 4859172, e-mail: akunavint45@mail.ru