

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Геращенко Александра Павловича **«Спектроскопия ЯМР в исследованиях электронных и магнитных свойств сильно коррелированных систем»**, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Исследования оксидных систем, содержащих ионы переходных металлов, занимают особое место в современной физике магнитных явлений, поскольку именно в магнитных свойствах этих материалов наиболее рельефно проявляется конкуренция обменных взаимодействий между коллективизированными и локализованными спинами, приводящая к уникальным квантовым макросостояниям материалов, применяемых в современных технологиях микроэлектроники и спинтроники. Для развития физики систем с сильными корреляциями и построения реалистических микроскопических моделей происходящих в них явлений критически необходимо изучение спектра низкоэнергетических возбуждений, а также распределения зарядовой и спиновой плотности такими локально-чувствительными экспериментальными методами как ядерный магнитный (ЯМР) и ядерный квадрупольный (ЯКР) резонанс, существенно дополняющими сведения, полученные с помощью рассеяния нейтронов. В этой связи не вызывает сомнений актуальность проведенного в рецензируемой диссертации систематического изучения методами ЯМР особенностей магнитной структуры, электронного строения, спиновой динамики, зарядового и орбитального упорядочения в половинно-допированных манганитах  $\text{Pr}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ ,  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ ,  $\text{Bi}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ , а также в квазидвумерных купратах  $\text{LiCu}_2\text{O}_2$  и  $\text{NaCu}_2\text{O}_2$ .

Весьма объемный труд А.П. Геращенко охватывает широкий круг вопросов, включая применяемую для исследования приборную базу ЯМР-экспериментов, методы обработки экспериментальной информации и определения компонент

тензоров магнитного и квадрупольного взаимодействий, изучение зарядового и орбитального упорядочения в перечисленных выше половинно-допированных манганитах в парамагнитном состоянии и антиферромагнитной фазе, неоднородностей магнитного состояния в манганитах, эффекта фазового расслоения и др.

Говоря об общей характеристике диссертационной работы Александра Павловича, следует прежде всего отметить плодотворность развиваемого автором направления экспериментальных исследований локальных особенностей зарядовой и спиновой плотности в магнитных оксидах с использованием изотопа  $^{17}\text{O}$  в качестве ЯМР-зонда. Поскольку атом кислорода в этих материалах непосредственно участвует в формировании анизотропных обменных взаимодействий локализованных спинов магнитных ионов, измерения спектров ЯМР на ядре  $^{17}\text{O}$  позволили автору диссертации получить новые интересные данные о формировании и термической стабильности фаз зарядового и орбитального упорядочения, а также о магнитных неоднородностях в допированных манганитах.

Значительным достижением рецензируемой диссертационной работы является разработка методов компьютерного моделирования спектров магнитного резонанса, позволивших с высокой степенью достоверности определить пространственную ориентацию магнитных моментов, а также компоненты и направления главных осей тензоров градиента электрического поля в магнитно-упорядоченной фазе кристалла. Следует также отметить тщательно продуманный и кропотливо проведенный эксперимент на аттестованных образцах. Автореферат диссертации А.П. Геращенко дает полное представление о проделанной работе и полученных результатах. По моему мнению, к наиболее интересным, имеющим фундаментальное значение, относятся следующие результаты работы А.П. Геращенко:

1. Экспериментально установленный факт различия спиральных магнитных структур в монокристаллах изоструктурных купратов  $\text{LiCu}_2\text{O}_2$  и  $\text{NaCu}_2\text{O}_2$ . До сих пор решение подобной задачи было возможно лишь в экспериментах по упругому

рассеянию поляризованных нейтронов.

2. Определение характера и численные оценки степени локализации  $e_g$  электронов на  $Mn^{3+}$ -O- $Mn^{4+}$  связи в фазе зарядово-орбитального упорядочения половинно-допированных манганитов  $Pr_{0.5}Ca_{0.5}MnO_3$ ,  $Bi_{0.5}Ca_{0.5}MnO_3$ ,  $Bi_{0.5}Sr_{0.5}MnO_3$ .

3. Экспериментальное обнаружение анизотропного характера «плавления» фазы орбитального упорядочения в  $LaMnO_3$ .

Отмечая общий высокий экспериментальный уровень и глубокую теоретическую интерпретацию исследований, составляющих основу диссертации А.П. Геращенко, считаю необходимым сделать несколько замечаний.

1. В автореферате отсутствует какая-либо информация об аттестации образцов. Возможно, в диссертации приведены соответствующие сведения, но желательно было бы их видеть и в автореферате. В частности, это касается структурных характеристик половинно-допированных манганитов.

2. В таблице 2 автор приводит значения температуры зарядового упорядочения  $T_{CO}$  для трех составов половинно-допированных манганитов, причем без погрешности. Думаю, следовало бы указать способ определения этой характеристики или привести ссылки на соответствующие публикации.

3. В четвертой главе автор приходит к заключению, что в соединении  $Pr_{0.5}Ca_{0.5}MnO_3$  реализуется ионная модель орбитального упорядочения. В рамках этой модели ожидается две неэквивалентные в магнитном отношении позиции кислорода, что, как указывает автор, и наблюдается в эксперименте. Однако низкочастотная часть приведенного спектра на Рисунке 6 автореферата имеет несимметричный вид и может быть представлена в виде суммы (суперпозиции) двух перекрывающихся спектральных линий. В этом случае спектр ЯМР будет описываться тремя линиями, что ставит под вопрос утверждение автора об ионной модели орбитального упорядочения.

Отмеченные обстоятельства не снижают общей высокой оценки диссертационной работы А.П. Геращенко, результаты которой представляют собой значительный вклад в экспериментальную физику систем с сильными

электронными корреляциями. Важным в практическом отношении результатом работы автора считаю отмеченную выше разработку методов компьютерного моделирования спектров магнитного резонанса и демонстрацию конкретных примеров ее применения.

Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих научных журналах, степень обоснованности научных положений и выводов не вызывает сомнения. Результаты исследований, лежащих в основе диссертации А.П. Герашенко, докладывались на многочисленных международных конференциях, семинарах и школах и хорошо известны среди специалистов.

Считаю, что диссертационная работа **«Спектроскопия ЯМР в исследованиях электронных и магнитных свойств сильно коррелированных систем»** удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Герашенко Александр Павлович – безусловно заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Мирмельштейн Алексей Владиславович

Главный научный сотрудник  
Отделение экспериментальной физики  
ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр-  
Всероссийский НИИ технической физики  
им. академ. Е.И. Забабахина»,  
доктор физ.-мат. наук

456770, Челябинская область, г. Снежинск, ул. Васильева, 13  
Телефон: 8-(351)-465-11-55  
e-mail: mirmelstein@mail.ru

Подпись Мирмельштейна А.В. заверяю:

Ученый секретарь НТС  
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ  
им. академ. Е.И. Забабахина»  
кандидат физ.-мат. наук

24 апреля 2019 г.

*С отзывом ознакомлен*  
*29.04.2019* *Мирмельштейн* 4



*(А.П. Герашенко)*