

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Гермова Александра Юрьевича «**Ядерный магнитный резонанс в электронно-допированных кубических манганитах  $Sr_{1-x}La_xMnO_3$** », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Поведение носителей заряда, внедренных в магнитные диэлектрики, в течение многих лет привлекает интерес исследователей, не только вследствие того, что такого рода материалы перспективны с точки зрения практических применений, в частности, в спинтронике, но и потому, что физические свойства таких систем, в том числе магнитное основное состояние, определяется конкуренцией нескольких фундаментальных взаимодействий между электронами проводимости и локализованными спинами, включая взаимодействие Кондо, РККИ, двойной обмен (double-exchange) и суперобмен (superexchange). Механизм двойного обмена был предложен Зенером в 1951 г. для объяснения ферромагнитного взаимодействия в дырочно-допированных манганитах. Позднее (1960 г.) де Жен показал, что при введении носителей заряда конкуренция между антиферромагнитным суперобменом и ферромагнитным двойным обменом приводит к скошенному (canted) антиферромагнитному основному состоянию. Дальнейшие исследования показали, однако, что в допированных магнитных изоляторах стабильным оказывается неоднородное состояние, представляющее собой сосуществование ферро- и антиферромагнитных областей, т.е. имеет место явление, получившее название фазового разделения (phase separation). Эффект был предсказан теоретически для высокотемпературных сверхпроводников (V. Emery and S. Kivelson, C. Di Castro) и манганитов (Ю.М. Каган, Д.И. Хомский, М.В. Мостовой, Э.Л. Нагаев), и его существование в той или иной проявлении было подтверждено многочисленными экспериментами в различных системах.

Тем не менее, проблема основного состояния допированных магнетиков продолжает быть в центре внимания исследователей. В свете сказанного актуальность работы А.Ю. Гермова, посвященной экспериментальному исследованию магнитного состояния, зарядового распределения и низкочастотной спиновой динамики электронно-допированных кубических манганитов не вызывает сомнений.

Очевидно, что перовскит с кубической структурой  $\text{SrMnO}_3$  представляет собой наиболее простую и наиболее подходящую для исследований систему с двойным обменом. Однако, этот материал довольно слабо исследован из-за трудностей приготовления однофазных кубических образцов стехиометрического состава. Исследование именно таких образцов составляет сильную сторону диссертационной работы Гермова.

Достоинством рецензируемой диссертации является комплексный подход автора к ЯМР-экспериментам, заключающийся в регистрации спектров на всех возможных для данного соединения ядрах:  $^{17}\text{O}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{139}\text{La}$ . Такой подход повышает информативность и обеспечивает надежность экспериментальных результатов.

Среди полученных результатов стоит особенно отметить экспериментальное обнаружение магнитных неоднородностей, проявляющихся в спектрах ЯМР и релаксационных характеристиках ядерных моментов при низких температурах и отражающих специфическую природу магнитного состояния кубических манганитов. Согласно полученным А.Ю. Гермовым экспериментальным данным, специфика электронно-допированных кубических манганитов  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{MnO}_3$  состоит в том, что вблизи ионов La при малых его концентрациях ( $x = 0,02$  и  $0,04$ ) формируются области с повышенной электронной плотностью, обеспечивая металлический характер проводимости. Интересен также вывод автора диссертации о том, что при малых концентрациях лантана  $x \leq 0,02$  в области низких температур  $T < 80$  К часть допированных электронов локализуется, формируя ферромагнитные области. При  $x = 0,02$  эти области, формирующиеся вблизи ионов лантана, можно рассматривать как магнитные поляроны с большим,

~ 25 магнетонов Бора, эффективным моментом.

Судя по публикациям по теме диссертации и автореферату, диссертационная работа А.Ю. Германа выполнена на высоком экспериментальном уровне, характерном для ЯМР исследований, проводимых в ИФМ УрО РАН, и заслуживает всяческого одобрения.

В качестве замечаний отмечу следующее. Во-первых, как сказано выше, одним из явных достоинств диссертации является удачный выбор кубического манганита как объекта исследования. Приготовление образцов этого материала – явно нетривиальная задача. В автореферате говорится, что проводилась структурная аттестация образцов, а также аттестация магнитометрическими методами. Однако, никаких подробностей о качестве образцов не приводится (кроме температуры Нееля). Возможно, в диссертации приведены более подробные данные, но желательно было бы видеть их и в автореферате, поскольку качество образцов может повлиять на убедительность выводов об электронных и магнитных неоднородностях в системе.

Во-вторых, представляется, что в диссертации (по крайней мере, в автореферате) не хватает сравнения механизмов и особенностей электронных и магнитных неоднородностей в электронно-допированных кубических манганитах с другими манганитами, где также наблюдались эффекты сосуществования ферро- и антиферромагнитных областей. Это, на мой взгляд, повысило бы научную ценность работы.

Работа А.Ю. Гермова, на мой взгляд, лишена недостатков, имеющих принципиальный характер, а высказанные замечания никак не влияют на общую положительную оценку работы. Автореферат дает достаточно полное представление о проделанной автором работе и полученных результатах. Не вызывает сомнения профессиональное мастерство Гермова как экспериментатора и глубокое понимание им физики исследуемых магнитных систем.

Считаю, что диссертационная работа «Ядерный магнитный резонанс в электронно-допированных кубических манганитах  $Sr_{1-x}La_xMnO_3$ » удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор

– Гермов Александр Юрьевич – заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата 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

В.Н. Югин

27 сентября 2018 г.

с отзывом оформлен  
01.10.18 *Гермов А.Ю.* /Гермов А.Ю./