

На правах рукописи

ГАМЗАТОВ АДЛЕР ГУДРЕТДИНОВИЧ

**Исследование электро- и теплофизических
свойств манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$)**

01.04.07. – физика конденсированного состояния

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

МАХАЧКАЛА - 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра Российской Академии наук

Научный руководитель: член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор
Камилов Ибрагимхан Камилович

Официальные оппоненты: член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор
Муртазаев Акай Курбанович

доктор физико-математических наук
Коледов Виктор Викторович

Ведущая организация: ГОУ ВПО Дагестанский государственный университет

Защита состоится 27 декабря 2011 г. в 15.00 на заседании диссертационного совета Д002.095.01 при Институте физики ДНЦ РАН по адресу: 367003, Махачкала, пр. Шамиля, 39-а.

Отзывы на автореферат можно направлять по адресу: 367003, Махачкала, ул. М. Ярагского, 94, Институт физики ДНЦ РАН

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики ДНЦ РАН

Автореферат разослан 22 ноября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико-математических наук



Батдалов А.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Продолжающийся интерес исследователей к изучению физических свойств перовскитных манганитов обязан прежде всего обнаруженному в них эффекту колоссального магнитосопротивления (КМС), который может найти, а в некоторых случаях уже находит, практическое применение при решении конкретных задач в информационных технологиях. Исследования последних лет в манганитах выявили и ряд новых эффектов с прикладными аспектами, такие как наличие большого магнитокалорического эффекта, что позволяет использовать их в качестве рабочего тела при создании твердотельных экологически чистых магнитных холодильников.

В то же время манганиты представляют собой превосходный модельный объект для исследования фундаментальных физических свойств сильно коррелированных электронных систем. Как показывают исследования последних лет, в манганитах проявляется глубокая взаимосвязь магнитной, решеточной и электронной подсистем твердого тела. К тому же оказалось, что в манганитах магнитные и обменные взаимодействия являются ведущими и определяют электронные и решеточные свойства кристалла, следствием чего является богатая фазовая диаграмма манганитов.

Несмотря на обилие теоретических моделей и большой объем накопленного экспериментального материала, механизмы, лежащие в основе появления эффекта КМС до конца не установлены и остается довольно большой круг задач, для решения которых требуются дальнейшие исследования.

Данная работа посвящена исследованию комплекса тепло- и электрофизических свойств манганитов лантана, допированных серебром. Было установлено, что замещение La одновалентными металлами, такими как K, Na, Ag и т.д. может также вызвать изменение валентности марганца и таким образом индуцировать эффект КМС. Наибольшее внимание среди такого типа материалов в последнее время привлекают манганиты, в которых в качестве легирующего металла используется серебро. В основе такого внимания лежат, кроме чисто научных и вполне прозрачные практические интересы: максимумы эффекта КМС и магнитокалорического эффекта в манганитах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) весьма велики и проявляются при комнатных температурах, что делает их перспективными функциональными материалами для информационных технологий, медицины и низкотемпературной теплотехники. Кроме того, данные материалы относятся к экспериментально мало изученным объектам.

Комплексное исследование электрических, тепловых, термомагнитных свойств системы $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) в зависимости от уровня легирования, температуры и магнитного поля позволит понять природу наблюдаемых в них эффектов и выявить перспективность использования данных материалов в прикладных целях.

Цель работы - Комплексное экспериментальное изучение электрических и теплофизических свойств одних и тех же образцов манганита $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$

($y \leq x$) при различных внешних воздействиях и выявление характерных особенностей, присущих данному классу манганитов.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Измерить электросопротивление и магнитосопротивление манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) в широкой области температур, магнитных полей и концентраций примеси, акцентируя внимание на поведение в окрестности температур фазовых переходов.
2. Измерить теплоемкость и теплопроводность манганитов в зависимости от концентрации серебра, температуры и магнитного поля.
3. Исследовать магнитокалорический эффект в манганитах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$), оценить изменение магнитной энтропии и выявить перспективность их использования для прикладных задач.

Практическая ценность работы. Манганиты с эффектом КМС имеют ясные инновационные перспективы как функциональные материалы для криотехники, датчиков в бытовой и промышленной электронике, для развития информационных технологий. Поэтому установление механизмов и особенностей электро- и теплопроводности и влияния на них внешних факторов представляют несомненную практическую ценность. Кроме того, представленные в работе экспериментальные данные могут сыграть важную роль при построении теоретических моделей фундаментальных физических процессов, происходящих в манганитах. Особую значимость имеют обнаруженные в них значения эффекта колоссального магнитосопротивления и магнитокалорического эффекта, которые приходятся на комнатные температуры и достигают огромных значений. Обнаруженный нами эффект КМС в одном из исследованных составов достигает 57 % в поле 11 кЭ, что является рекордом для данной системы вообще. Большие величины магнитокалорического эффекта в этих материалах и устойчивость к воздействию окружающей среды (коррозия, деградация) делает данные магнитные материалы реальными кандидатами в качестве рабочего тела для твердотельных холодильников.

Научная новизна заключается в том, что впервые проведено комплексное исследование электро- и теплофизических свойств (электросопротивление, магнитосопротивление, термоэдс, теплоемкость, термодиффузия, теплопроводность и магнитокалорический эффект) манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) в интервале температур (4÷360 К) и в магнитных полях до 30 кЭ и сформулированы в виде положений, которые **выносятся на защиту**:

1. Результаты исследования температурной, концентрационной и магнитолевой зависимости электросопротивления образцов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$), на основе которых установлены доминирующие механизмы рассеяния носителей заряда в пара- и ферромагнитных фазах.

2. Интерпретация низкотемпературного минимума на температурной зависимости электросопротивления в некоторых образцах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$).
3. Закономерности изменения универсальных критических индексов и амплитуд теплоемкости вблизи точки фазового перехода. Все исследованные образцы соответствуют гейзенберговскому $3D$ классу универсальности критического поведения. Класс универсальности критического поведения теплоемкости манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.1; 0.15; 0.2$) не зависит от концентрации серебра.
4. Общие закономерности влияния допирования и магнитного поля на температурную зависимость теплоемкости системы $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.1; 0.15; 0.2$).
5. Результаты исследования температурной и магнитополевой зависимости теплопроводности. Фононный механизм теплопередачи является доминирующим, а локальные искажения Яна-Теллера рассматриваются в качестве основного механизма рассеяния фононов.
6. Результаты экспериментального исследования магнитокалорического эффекта. Показано, что в манганитах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ наблюдаются большие значения магнитокалорического эффекта (изменение магнитной энтропии $\Delta S \approx 6$ Дж/кг К при $\Delta H = 26$ кЭ), максимумы которых приходятся на комнатные температуры, что делает данные материалы реальными кандидатами в качестве рабочего тела для устройств магнитного охлаждения, работающих при комнатных температурах.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на: Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» (Махачкала, 2004, 2005, 2006, 2009 гг.); XIX и XX Международной школе-семинаре «Новые магнитные материалы микроэлектроники» (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова 2004, 2006 гг.); XI Российской конференции по теплофизическим свойствам веществ (Санкт-Петербург, 2005 г.); на VIII, IX, X и XI Международном симпозиуме «Порядок, беспорядок и свойства оксидов» (Ростов-на-Дону - Сочи, п. Лоо, 2005, 2006, 2007, 2008гг.); на VIII, X и XI Международном симпозиуме «Упорядочение в минералах и сплавах» (Ростов-на-Дону - Сочи, п. Лоо, 2005, 2006, 2007, 2008г.г.); Moscow International Symposium on Magnetism (Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005, 2008 гг.); International Conference «Functional Materials» (ICFM-2005), (Ukraine, Crimea, Partenit: Ukrainian Physical Society.-2005); XXXIV совещание по физике низких температур (НТ-34), (Ростов-на-Дону - Сочи, п. Лоо, 2006г.); Second IIF-IIR International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, (Portoroz, Slovenia, 2007); Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела» (Минск 2009 г.); VI Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов (г.Москва, ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, 2009 г.). XXI Международной конференции «Новое в магнетизме и магнитных материалах».

(Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009); III Всероссийской молодежной школе-семинаре с международным участием «Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики» (ФИАН, Москва – Технопарк ФИАН, г.Троицк, Московская обл. 2009г.).

Результаты работы обсуждались на научных семинарах лаборатории физики низких температур и сверхпроводимости и общеинститутских семинарах (Институт физики ДНЦ РАН).

Публикации. Основные результаты работы отражены в 31 работах, в том числе в 13 статьях, опубликованных в российских и зарубежных научных изданиях, входящих в перечень журналов, утвержденных ВАК Минобрнауки РФ. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Исследования, проведенные в настоящей работе, проводились при поддержке грантов: РФФИ 06-02-96612-р_юг_а (2006-2008) «Теплофизические свойства и магнетокалорический эффект в сплавах $Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga$ и $La_{1-x}Ag_xMnO_3$ »; РФФИ 09-08-96533-р_юг_а (2009-2011) «Перспективные материалы для магнитных холодильников - получение и исследование теплофизических и магнетокалорических свойств»; РФФИ мобильность молодых ученых: 09-02-09636-моб_з (2009) «Участие в IV Международной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела -Минск»; 09-02-16008-моб_з_рос (2009) «Участие в Международной конференции «Новое в магнетизме и магнитных материалах» (НМММ - XXI) -Москва»; Развитие научного потенциала высшей школы на 2005 г. программа «Университеты России» № УР.01.01.045 (2005-2006) «Комплексное исследование фазовых переходов и магнетокалорического эффекта в манганитах $La_{1-x}Ag_xMnO_3$ и сплавах Гейслера $Ni_{2+x}Mn_{1-x}Ga$ »; Ведущая научная школа НШ-4526.2008.2 (2008-2009); Программа фундаментальных исследований ОФН РАН (2006-2011) «Сильно коррелированные электроны в твердых телах и структурах».

Некоторые результаты по исследованию свойств манганитов $La_{1-x}Ag_xMnO_3$, вошли в отчет о деятельности Российской академии наук в 2006 году «Основные результаты в области естественных, технических, гуманитарных и общественных наук» (Отчет РАН за 2006г., стр.16).

За цикл публикаций «Комплексное исследование электро- и теплофизических свойств манганитов $La_{1-x}Ag_xMnO_3$ », являющийся основной частью настоящей работы, автор был удостоен премии Европейской Академии для молодых ученых России (Academia Europaea Prizes for Young Scientists) по разделу «Физика» за 2009 год.

За цикл публикаций «Исследование электро- и теплофизических свойств манганитов», также являющийся составной частью настоящей работы, автор стал победителем конкурса научных работ молодых ученых и специалистов Республики Дагестан за 2010 год в области физико-математических и технических наук.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 121 страницах, иллюстрирована 47 рисунками и 7 таблицами. Список цитируемой литературы содержит 148 ссылок.

Работа состоит из введения, пяти глав, выводов и списка цитируемой литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы, приводятся основные положения, выносимые на защиту, дается краткая аннотация по главам.

Первая глава диссертации носит обзорный характер и включает в себя анализ современного состояния в области исследования легированных редкоземельных манганитов: кристаллической структуры, различных механизмов, предложенных для объяснения эффекта КМС, а также исследования тепловых и транспортных свойств легированных манганитов, непосредственно относящихся к теме диссертации.

В разделе 1.1 приводятся общие представления о кристаллических и магнитных структурах манганитов. Там же приведены для сравнения экспериментальные фазовые диаграммы для манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$, $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ и $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$.

Раздел 1.2 посвящен манганитам, допированным одновалентными ионами $\text{La}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$ (K, Na, Ag). Приводятся магнитная фазовая диаграмма манганитов допированных одновалентными ионами, а так же их структурные и химические характеристики.

В разделе 1.3 приводятся литературные данные электросопротивления манганитов, допированных одновалентными ионами (K^+ , Ag^+). Подробно проанализированы механизмы проводимости как выше температуры перехода металл-диэлектрик, так и ниже.

В разделе 1.4 приводится анализ температурной зависимости термоэдс манганитов $\text{La}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$ (K, Ag). Показано, что при магнитном фазовом переходе происходит смена типа проводимости.

Раздел 1.5 посвящен теплоемкости манганитов. На примере манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ приводится анализ температурной зависимости теплоемкости в широком температурном интервале (4-400 K).

В разделе 1.6 приводится обзор работ по термодиффузии и теплопроводности в манганитах. Приводятся и анализируются основные механизмы теплопереноса.

Во **второй главе** приводится описание используемых экспериментальных методов исследования. Теплоемкость, термодиффузия измерялись на автоматизированной установке с помощью метода ас-калориметрии [1] используя программу Heat-Master, разработанную Ш.Б. Абдулвагидовым. Приводится также описание установки для измерения кинетических коэффициентов (теплопроводность, электросопротивление, термоэдс)

стандартным методом. Описана установка для измерения магнитокалорического эффекта прямым методом.

В третьей главе приведены результаты экспериментального исследования электрических свойств манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ и их обсуждение.

В разделе 3.1 описана технология синтеза исследованных образцов и их характеристики. Образцы были получены в лаборатории «Химии координационных соединений» Химического факультета МГУ. (А.Р. Кауль, О.Ю. Горбенко, О.В. Мельников).

В разделе 3.2 приведены результаты исследования

электросопротивления и КМС манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ в зависимости от температуры и магнитного поля. Температурная зависимость электросопротивления (рис.1) имеет характерный для большинства легированных манганитов вид с колоколообразным максимумом вблизи комнатных температур, демонстрирующим наличие фазового перехода металл – диэлектрик при T_M .

В высокотемпературной парамагнитной области зависимость $\rho(T)$ носит полупроводниковый характер и может быть интерпретирована на основе концепции поляронов малого радиуса. Проводимость в таком случае осуществляется путем прыжков носителей по локализованным состояниям (прыжковая проводимость).

Зависимость $\rho(T)$ выше температуры перехода металл-диэлектрик достаточно хорошо аппроксимируется термоактивационным законом вида:

$$\rho = DT \exp(E_p / k_B T), \quad (1)$$

где E_p – энергия активации поляронного прыжка, D – коэффициент, не зависящий от T . Коэффициент D связан с концентрацией носителей заряда, в данном случае поляронов, следующим выражением: $D = 2k_B / 3ne^2av$, где n – концентрация носителей заряда, a – длина прыжка, которая примерно совпадает с постоянной решетки, v – частота оптических фононов. Используя значения D , полученные путем аппроксимации экспериментальных данных и характерные значения для a и v ($a \approx 5.4 \text{ \AA}$, $v \approx 4 \cdot 10^{13} \text{ Гц}$), можно оценить n . Расчеты показывают, что $n = 0.57 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ($x=0.1$), $1.02 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ($x=0.15$) и $2.14 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ($x=0.2$). Это означает,

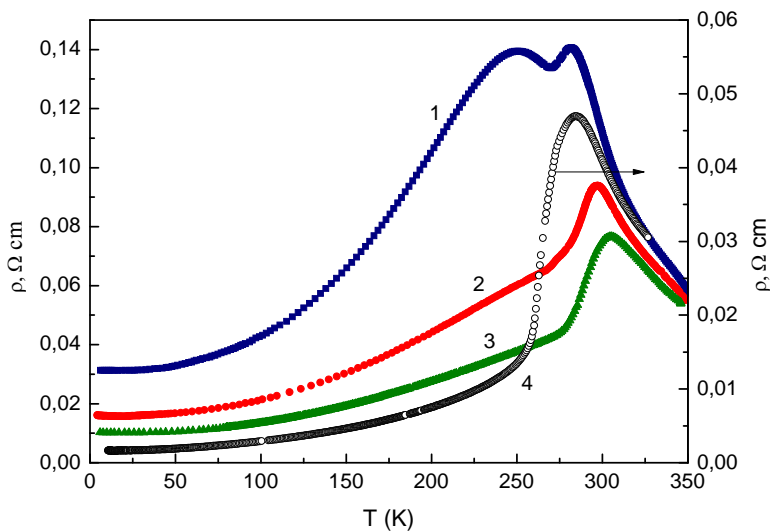


Рис.1. Температурная зависимость электросопротивления. 1- $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$; 2- $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$; 3 - $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{MnO}_3$; 4- $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$.

что с ростом уровня легирования концентрация носителей заряда растет и это соответствует наблюдаемому на опыте поведению $\rho(T, x)$.

В низкотемпературной ферромагнитной фазе ($T < T_C$) зависимость $\rho(T)$ не поддается столь простой и однозначной трактовке, а аппроксимируется выражением, включающим несколько механизмов рассеяния:

$$\rho_{FM}(T) = \rho_0 + AT^2 + BT^{4.5} \quad (2)$$

где ρ_0 – остаточное сопротивление, член AT^2 обычно приписывают взаимному рассеянию носителей заряда, а член $BT^{4.5}$ обусловлен электрон-магнетонными процессами рассеяния [2]. Характерная кривая $\rho(T)$ для одного из образцов с оценкой вклада от различных механизмов рассеяния приведена на рисунке 2.

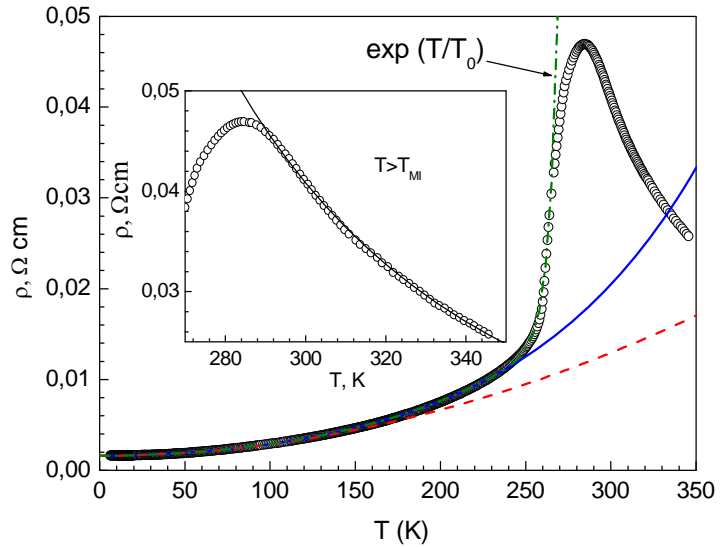


Рис.2. Температурная зависимость электросопротивления для образца $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$. Пунктирная линия – сумма двух первых членов выражения (2), сплошная линия учитывает и электрон-магнетонное взаимодействие.

В непосредственной близости к T_C , в интервале $T=230-284$ К, наблюдается резкое возрастание сопротивления с ростом T , которое уже не описывается зависимостью вида (2).

Формально такое поведение $\rho(T)$ можно описать экспонентой, которой трудно подобрать соответствующий микроскопический механизм рассеяния. Качественное объяснение заключается в том, что в выражение для электропроводности ($\sigma = en\mu$) входят подвижность μ и концентрация носителей заряда n , которые в этой области температур вблизи T_C могут иметь резкую температурную зависимость. Можно предположить, что мы имеем дело с двумя механизмами, работающими в одну сторону:

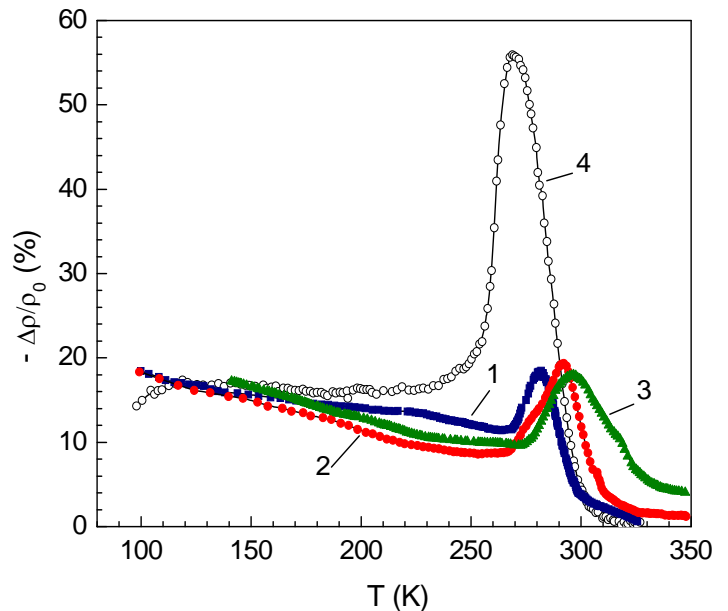


Рис.3. Магниторезистивный эффект для исследованных образцов в поле 11 кЭ. 1- $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$; 2- $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$; 3 - $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{MnO}_3$; 4- $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$.

экспоненциальный рост подвижности поляронов за счет ослабления рассеяния

их на магнитных флуктуациях и одновременный рост их количества за счет делокализации при переходе в ферромагнитную фазу. Во всяком случае, в литературе имеются сведения и об экспоненциальном росте подвижности носителей заряда [3], и о росте концентрации носителей заряда (уменьшение коэффициента Холла) при переходе в магнитоупорядоченную фазу [4].

Из рис.3 видно, что во всех исследованных нами образцах наблюдается эффект КМС, максимум которого находится вблизи комнатной температуры, причем значения магниторезистивного эффекта $|\Delta\rho/\rho_0|$ достигают огромных величин. Так, величина $|\Delta\rho/\rho|*100\% \approx 57\%$, наблюдаемая для одного из образцов при $T=270$ К является рекордным для этой системы, причем это значение достигнуто в относительно небольшом магнитном поле 11 кЭ. Температуры максимумов эффекта КМС примерно совпадают с T_C , но не с T_M , что вообще характерно для этой системы.

Обращает на себя внимание большая величина магниторезистивного эффекта при низких температурах вдали от T_C . Более того, для некоторых образцов эффект КМС растет с понижением T , что вместе с обнаруженным при гелиевых температурах четко выраженным минимумом электросопротивления в нулевом магнитном поле (рис.4) требует дополнительных разъяснений. Если наличие эффекта КМС при низких температурах еще можно интерпретировать в рамках модели фазового расслоения, то для объяснения наличия минимума в поведении $\rho_{FM}(T)$ требуется учесть еще один дополнительный механизм рассеяния.

В пункте 3.2.1 рассматривается анализ низкотемпературного минимума в электросопротивлении манганита $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$.

Для объяснения минимума в температурной зависимости удельного сопротивления при низких температурах использована модель спин-поляризованного туннелирования, предложенная авторами [5], где показано, что при низких температурах зависимость $\rho(T, H)$ имеет вид:

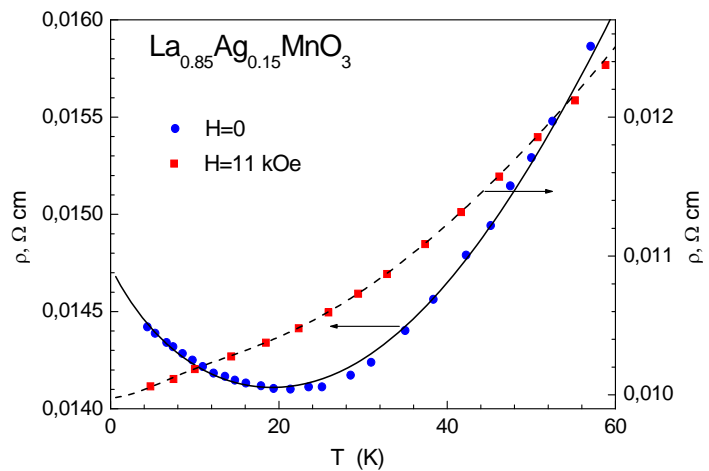


Рис.4. Низкотемпературное поведение $\rho(T)$ в поле 11 кЭ и без поля.

$$\rho(T, H) = \frac{\rho_0 + \rho_1 T^{3/2}}{1 + \varepsilon \langle \cos \theta_{ij} \rangle}, \quad (3)$$

где ρ_0 и ρ_1 параметры не зависящие от поля, $\varepsilon = P^2$, где P -степень поляризации носителей тока в каждой грануле и $\langle \cos \theta_{ij} \rangle$ - спиновая корреляционная функция.

На рис.4 приведены результаты аппроксимации экспериментальных данных $\rho(T)$ как при $H=0$ (сплошная линия), так и при $H=11$ кЭ (пунктирная линия) с помощью выражения (3). Как видим из рисунка, модель спин-поляризованного тунелирования достаточно хорошо описывает наблюдаемые экспериментальные результаты.

В работе [6] получено сложное выражение для полевой зависимости магнитосопротивления, учитывающее вклады от различных механизмов рассеяния.

$$MR = -A \int_0^H f(k) dk - JH - KH^3, \text{ где} \quad (4)$$

$$f(k) = A \exp(-Bk^2) + Ck^2 \exp(-Dk^2)$$

Первый член в выражении (4) ответственен за спин-поляризованное тунелирование, а две последующие слагаемые – за механизм двойного обмена. Дифференцируя выражение (4) по H , получим:

$$\frac{d(MR)}{dH} = A \exp(-BH^2) + CH^2 \exp(-DH^2) - J - 3KH^2 \quad (5)$$

Авторы [7] показали, что зависящий от направления спина механизм тунелирования становится преобладающим при низких температурах, что полностью соответствует нашим экспериментальным данным (рис.5).

Яркой иллюстрацией вышесказанного является характер зависимости магнитосопротивления от H при разных T , приведенный на вставке рис.5. При $T=77$ К основной вклад в $MR(\sim \Delta\rho/\rho_0)$ вносит спин-зависимое тунелирование носителей заряда по границам зерен. Этот механизм преимущественно проявляется при низких температурах и очень чувствителен к изменению магнитного поля, т.е. наблюдается резкий рост $|\Delta\rho/\rho_0|$ в слабых полях и плавный выход на слабую линейную зависимость ρ от H с ростом поля (без насыщения даже в сильных магнитных полях). Вблизи T_C , где наблюдается «классический эффект» КМС, гранулы теряют свои преимущественные ориентации магнитных доменов благодаря тепловому движению и вклад от тунелирования стремится к нулю, при этом основной вклад в $|\Delta\rho/\rho_0|$ вносит механизм двойного обмена

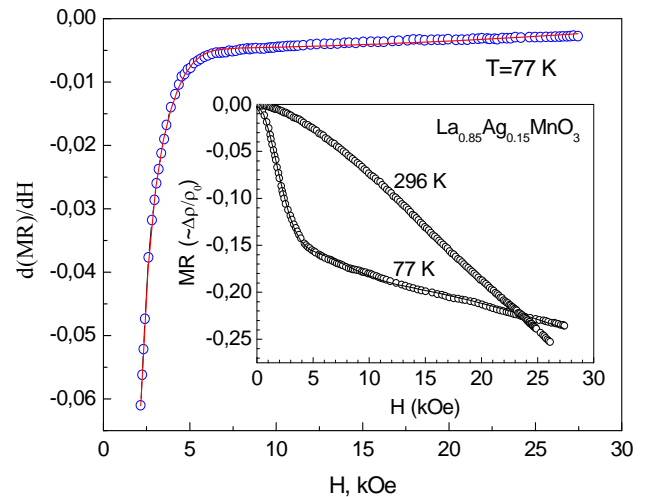


Рис.5. Магнитополевая зависимость $d(MR)/dH$ при $T=77$ К. На вставке – полевая зависимость магнитосопротивления при $T=77$ К и при $T=296$ К. Линии соответствуют аппроксимации с помощью выражений (4) и (5) с коэффициентами аппроксимации для $T=77$ К: $A=-0.2493$, $B=0.3917$, $C=-0.0076$, $D=0.1681$, $J=0.0048$, $K=-3.2 \cdot 10^{-6}$.

В четвертой главе обсуждаются результаты исследования теплоемкости, термодиффузии, теплопроводности и термоэдс манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$.

В разделе 4.1 приведены результаты исследования теплоемкости. Графики зависимости $C_p(T)$ приведены на рисунке 6. Для наглядности, данные по $C_p(T)$ смешены относительно образца с $x=0.1$. Как видно из рисунка, теплоемкости для всех образцов обнаруживают аномалии вблизи T_C , связанные с магнитным фазовым переходом ферромагнетик-парамагнетик, причем наблюдается корреляция между T_C и x : с увеличением концентрации серебра растет и T_C . Так для $x=0.1$ $T_C=270$ К, $x=0.15$ $T_C=280$ К и для $x=0.2$ $T_C=287$ К. На рис.7(а) представлена аномальная часть теплоемкости ($\Delta C_p=C_p-C_B$) в зависимости от температуры для образцов $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$, $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ и $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{MnO}_3$.

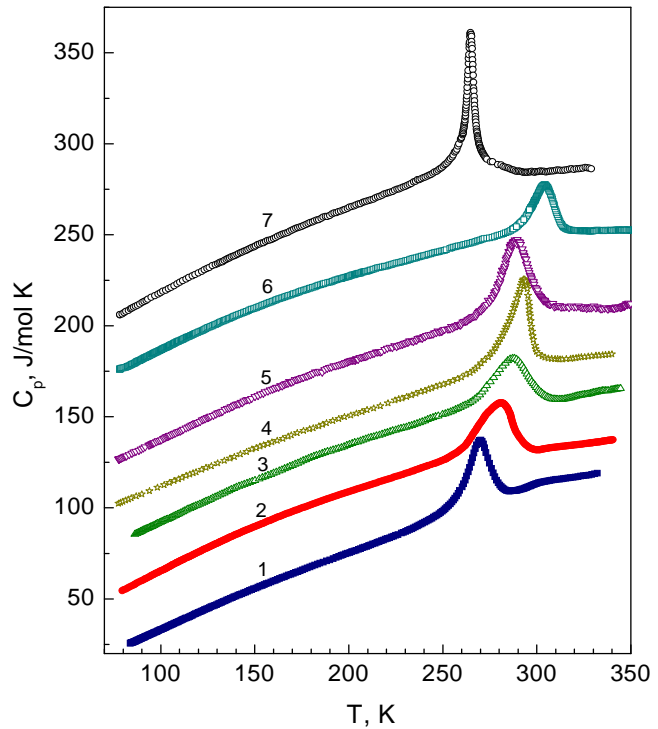


Рис.6. Температурная зависимость теплоемкости образцов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$. Для наглядности графики смешены относительно друг друга. 1- $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$; 2- $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$; 3 - $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{MnO}_3$; 4- $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$ ($-P=1$ атм, $t=5$ час); 5- $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ ($-P=5$ атм, $t=20$ час); 6- $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$ ($-P=1$ атм, $t=20$ час); 7- $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ ($-P=1$ атм, $t=20$ час).

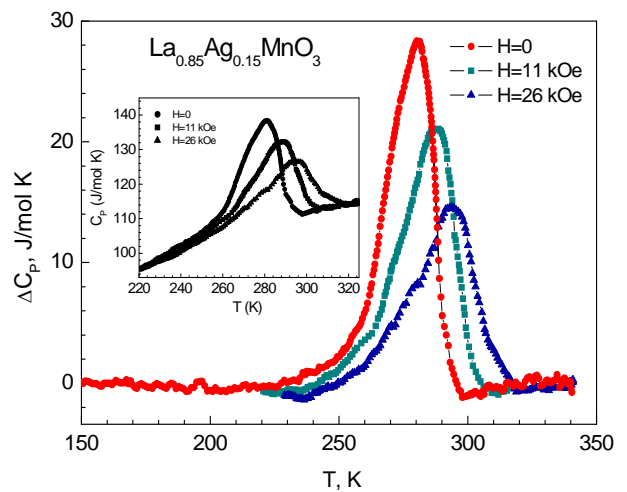
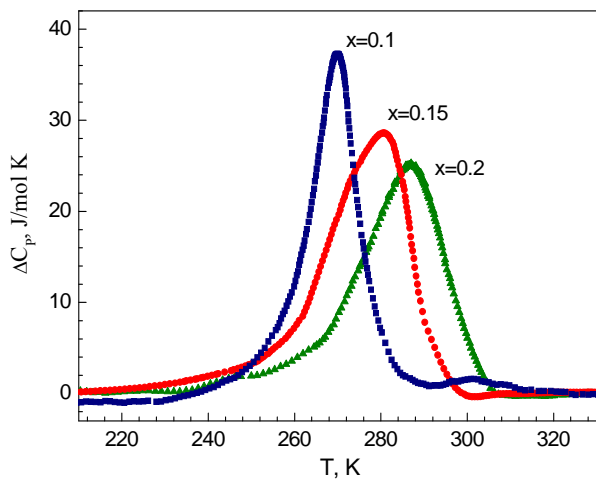


Рис.7. а) Аномальная часть теплоемкости ΔC_p в зависимости от температуры для образцов $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$, $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ и $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{MnO}_3$. б) Аномальная часть теплоемкости ΔC_p в зависимости от температуры для образца $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ в полях 0, 11 и 26 кЭ. Во вставке теплоемкость $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ в полях 0, 11 и 26 кЭ.

Как видно из рисунка, с ростом концентрации Ag аномалия теплоемкости уменьшается по своей амплитуде, размывается по температурной шкале и сдвигается в сторону более высоких температур. Это практически идентично поведению ферромагнетика в магнитном поле, что наводит на мысль о явной аналогии между влиянием допирования серебром и магнитного поля на теплоемкость $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ в области магнитного фазового перехода. Чтобы проследить эту аналогию, на рис.7(b) показана температурная зависимость аномальной части теплоемкости ΔC_p $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ при различных значениях магнитного поля.

Таким образом, легирование системы $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ аналогично воздействию на нее магнитного поля. По мере увеличения степени легирования x температура ферромагнитного фазового перехода смещается в сторону более высоких температур, аномалия теплоемкости размывается, а соответствующий ей скачок теплоемкости уменьшается по величине.

В пункте 4.1.1 рассматривается критическое поведение теплоемкости вблизи температуры Кюри.

Для описания критического поведения аномальной части теплоемкости ΔC_p мы воспользовались следующим выражением [7]:

$$\Delta C_p^{+,-} = \frac{A^{+,-}}{\alpha'} |t|^{-\alpha} \left(1 + D^{+,-} |t|^\theta \right), \quad (6)$$

где A^+, A^- – критические амплитуды теплоемкости выше и ниже T_C , D^+, D^- – амплитуды коррекции к скейлингу, θ – поправочный индекс к скейлингу (в нашем случае $\theta=0.55$, что соответствует модели Гейзенберга [6]), α, α' – критические индексы теплоемкости выше и ниже T_C , $t=(T-T_C)/T_C$ – приведенная температура.

На рис.8 (а, b, c) приведены зависимости аномальной части теплоемкости соответственно для образцов $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$, $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ и $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{MnO}_3$ от приведенной температуры в полулогарифмическом масштабе как при $T>T_C$, так и при $T<T_C$. На этих же рисунках сплошные линии соответствуют аппроксимации ΔC_p по формуле (6). Аппроксимация критического поведения теплоемкости была проведена с помощью нелинейного метода наименьших квадратов (рис.8.а,b,c). Интервал аппроксимации выбирался таким образом, чтобы значение среднеквадратичной ошибки R при аппроксимации наших данных по формуле (6) было минимальным.

Полученные нами численные значения критического индекса теплоемкости $\alpha=-0.115$, -0.106 и -0.106 соответственно для $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$, $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ и $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{MnO}_3$ близки к теоретической оценке $\alpha=-0.12$ для 3D изотропных гейзенберговских магнетиков. Как видим, класс универсальности критического поведения теплоемкости манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ не зависит от концентрации серебра. Наравне с наблюдением аналогии между влиянием магнитного поля и допированием, независимость класса универсальности от уровня допирования, на наш взгляд, присуще манганитам допированным одновалентными ионами, в частности серебром.

Подтверждением наших выводов о независимости критического поведения манганитов, допированных серебром, от условий синтеза и от концентрации серебра, является результаты работы [8], где исследования критического поведения магнитной восприимчивости χ в окрестности точки Кюри в манганитах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.1; 0.15$), также показывают, что критическое поведение соответствует $3D$ гейзенберговскому классу универсальности с критическими индексами $\gamma=1.395$ и 1.382 соответственно для $x=0.1$ и 0.15 .

В разделе 4.2 приводятся результаты исследования термодиффузии и теплопроводности манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$.

На рисунке 9 приведена температурная зависимость термодиффузии $\eta(T)$, которая, по сути представляет собой зависимость длины свободного пробега носителей тепла, в данном случае фононов (что следует из закона Видемана-Франца и наших экспериментальных результатов), от температуры. В области магнитного фазового перехода наблюдается ярко выраженный минимум, что свидетельствует о сильной развитости флуктуаций магнитного параметра порядка, на которых рассеиваются носители тепла. Магнитное поле, подавляя флуктуации, сглаживает минимум термодиффузии. Ниже 30 К термодиффузия резко растет, что связано с интенсивным уменьшением процессов фонон-фононного рассеяния. Для определения средней длины свободного пробега фононов необходимо значение η , приведенное на рис.9 разделить на скорость звука v_s ($l_{ph}=3\eta/v_s$). Взяв характерные значения скорости звука $v_s \approx 5 \cdot 10^5$ м/с для керамических манганитов (данные v_s для систем La_{1-x}

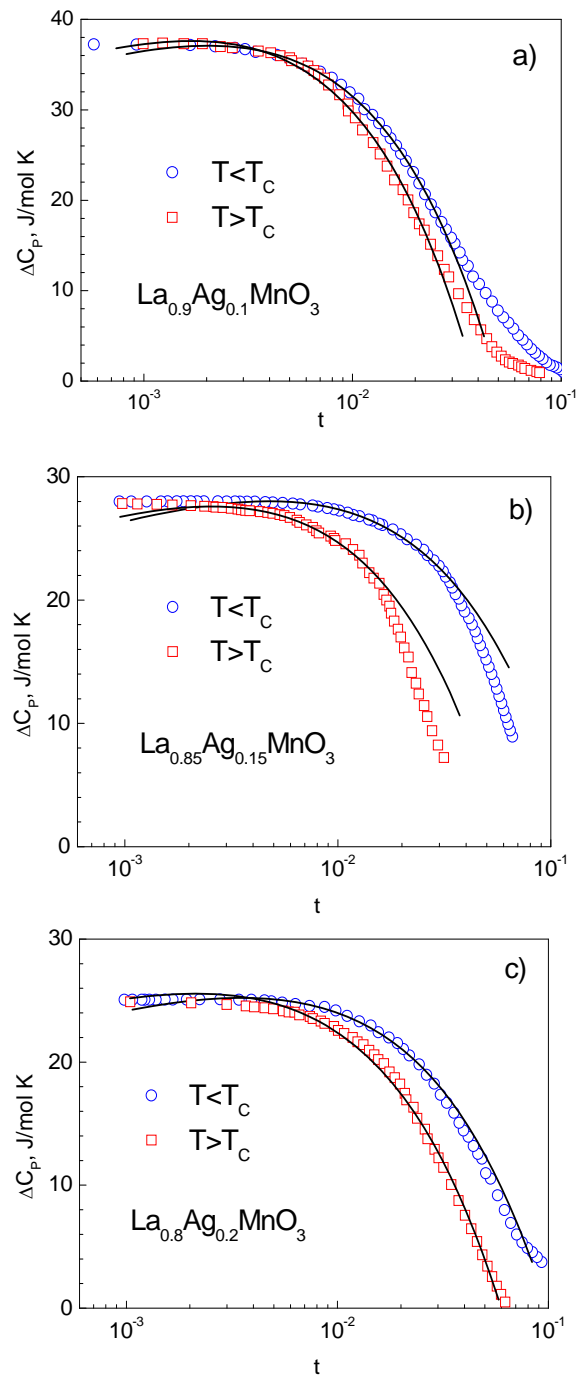


Рис.8. Зависимость аномальной части теплоемкости от приведенной температуры как выше T_C , так и ниже T_C . Линии соответствуют аппроксимации по формуле (6).

$x\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ нам неизвестны), получаем график зависимости $l_{ph}(T)$, который приведен на вставке рис.9.

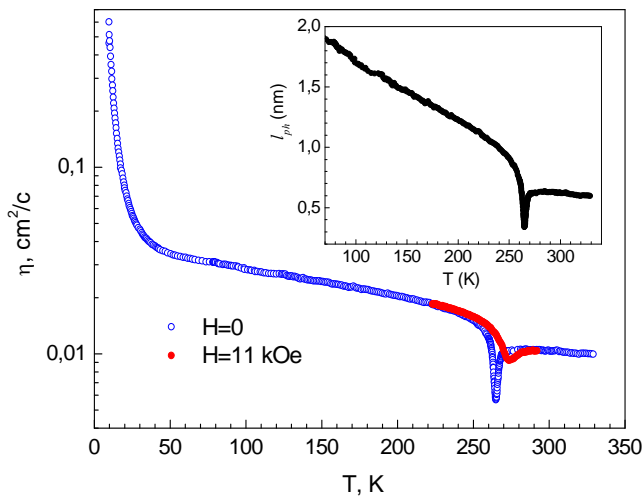


Рис.9. Температурная зависимость термодиффузии для $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$. На вставке – график зависимости $l_{ph}=f(T)$.

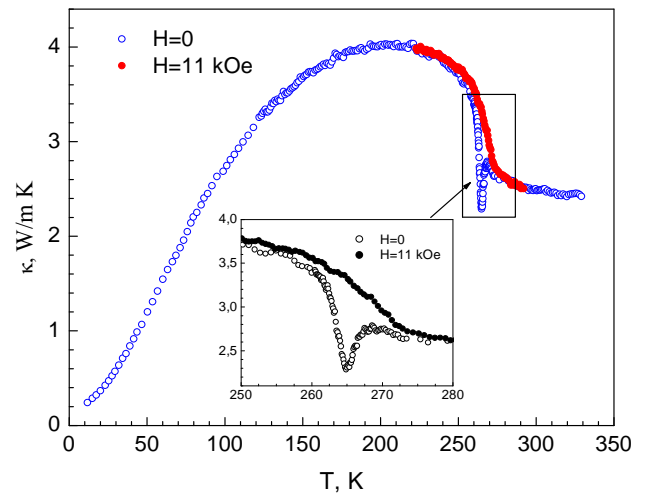


Рис.10. Температурная зависимость теплопроводности $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$.

В поведении $\kappa(T)$ $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ обращают на себя внимание следующие особенности (рис.10). Как и для других манганитов [9], для допированных одновалентным серебром манганитов характерна малая величина теплопроводности. Выше T_C наблюдается слабая зависимость от температуры, а вблизи T_C - острый минимум, который связан с критическим рассеянием фононов на флуктуациях магнитного параметра порядка (рис.10). Оценка электронной составляющей из закона Видемана – Франца показывает, что κ_e не превышает 2% от общей теплопроводности, а магنونная составляющая обычно еще меньше [9].

Таким образом, ход $\kappa(T)$ определяется только фононами. Длина свободного пробега фононов во всей исследованной области температур, вплоть до гелиевых, указывают на то, что при анализе зависимости $\kappa(T)$ можно пренебречь рассеянием фононов на границах кристаллитов ($l_{ph} \ll d$, d – средний размер гранул, который в нашем случае варьируется около одного микрона). Резкий рост κ с понижением температуры ниже T_C обусловлен, как мы полагаем, снятием искажений Яна–Теллера, которые выступают в качестве основного механизма, ограничивающего фононный поток тепла [8].

Пятая глава посвящена магнитокалорическому эффекту, и состоит из трех разделов.

Раздел 5.1 посвящен теории и методам исследования МКЭ.

В разделе 5.2 приводится исчерпывающий обзор имеющихся экспериментальных работ по магнитокалорическим свойствам манганитов, допированных одновалентными ионами (Ag, K, Na).

Раздел 5.3 посвящен непосредственно результатам исследования МКЭ в манганитах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ ($y \leq x$). Были исследованы магнитокалорические

свойства системы $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) в широком температурном интервале и в магнитных полях до 30 кЭ как прямым, так и косвенным (по данным теплоемкости в поле и без поля) методами.

Результаты наших экспериментальных исследований приведены на рис. 11 и 12. На рисунке 11 показаны температурные зависимости магнитокалорического эффекта ΔT_{ad} , полученные путем прямых измерений при изменении магнитного поля на $\Delta H = 26$ кЭ. Как видим, значения МКЭ для исследованных составов достигают высоких значений, а температуры максимумов приходятся на комнатные температуры. Наибольшее значение МКЭ наблюдается для образца $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ ($T_{max} \approx 270$ К), в то время как у того же самого состава, отожженного при более высоком парциальном давлении кислорода ($P(\text{O}_2) = 5$ атм.), максимальное значение МКЭ $\Delta T_{ad} = 1.2$ К, но максимум эффекта наблюдается при более высокой температуре ($T_{max} \approx 310$ К).

При изучении магнитокалорического эффекта более важной характеристикой материала является изменение магнитной энтропии ΔS , чем ΔT_{ad} . Используя выражение $\Delta T = (T/C_H)\Delta S_H$, и наши экспериментальные данные для теплоемкости, мы вычислили изменение магнитной энтропии для двух образцов (рис. 12) и получили максимальные значения изменения магнитной энтропии - $\Delta S \approx 4.2$ Дж/кг К и 5.6 Дж/кг К соответственно для

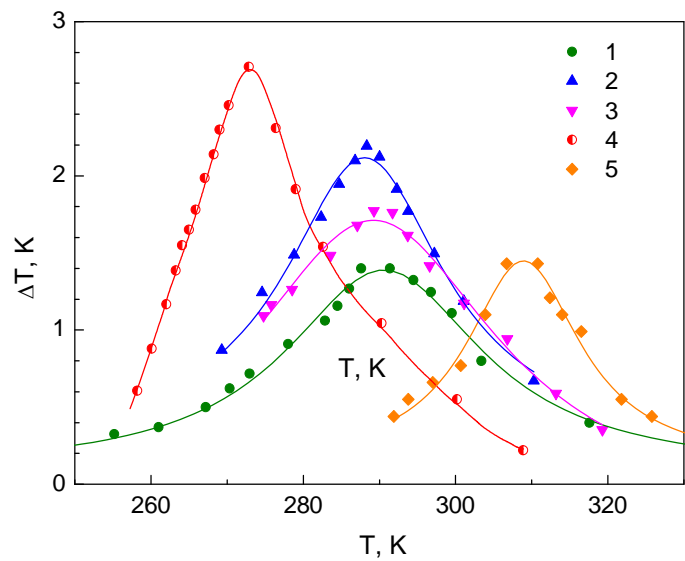


Рис.11. Температурная зависимость МКЭ для образцов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ при изменении магнитного поля на $\Delta H = 26$ кЭ. 1- $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$, 2- $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$, 3- $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.2}\text{MnO}_3$, 4- $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$, 5- $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ ($P(\text{O}_2) = 5$ атм).

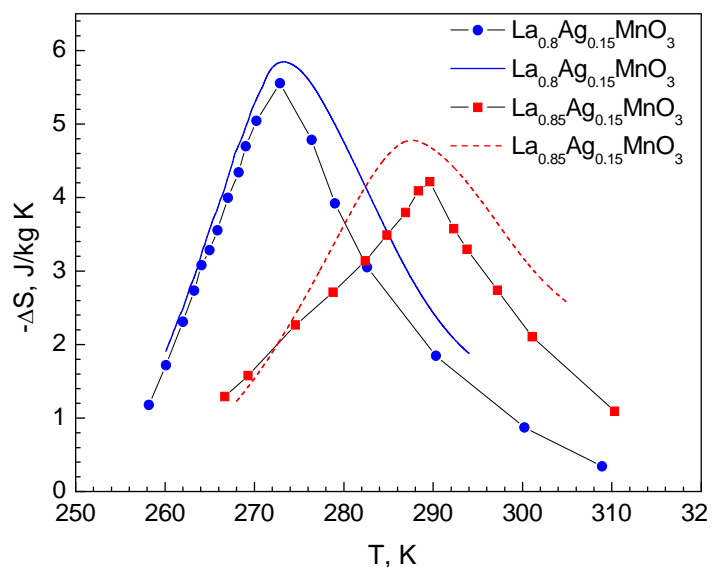


Рис.12. Температурная зависимость изменения магнитной энтропии для образцов $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ и $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$. Точки соответствуют данным прямых измерений, а сплошная и пунктирная линии получены из данных по теплоемкости.

$\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ и $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ в магнитном поле $\Delta H=26$ кЭ. Как было отмечено выше, МКЭ нами был вычислен и по данным теплоемкости в магнитном поле и без поля. Результаты таких расчетов также приведены на рис.12 (сплошная и пунктирная линии). Как видим, результаты прямых и косвенных измерений МКЭ не сильно отличаются друг от друга.

Вычисленные нами значения эффективности магнитного охлаждения RCP (relative cooling power) [10] показывают довольно высокие значения (RCP=147 Дж/кг для $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ в поле 26 кЭ), что говорит о возможности использования МКЭ в этих материалах в прикладных целях. Сравнение наших результатов с данными для других манганитов [10] показывает существенное преимущество серебросодержащих манганитов. Это – подходящая температура Кюри (вблизи комнатной температуры) и относительно слабая вариация величины МКЭ в весьма широком интервале температур.

Нужно отметить, что результаты исследования МКЭ в манганитах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$, приводимых разными авторами, существенно отличаются друг от друга [10]. Можно предположить, что такая разница связана с разной технологией синтеза образцов и, возможно, с разными экспериментальными методами исследования. Это указывает на то, что для корректного сравнительного анализа необходимо иметь монофазовые высококачественные образцы, в частности, важно использовать одинаковые $P(\text{O}_2)$ - T условия, поскольку манганиты, допированные одновалентными катионами характеризуется значительной кислородной нестехиометрией.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что в парамагнитной области поведение $\rho(T)$ исследованных нами образцов укладывается в рамки концепции поляронов малого радиуса с энергией активации, убывающей с ростом концентрации серебра. Электросопротивление в ферромагнитной фазе описывается выражением, включающим несколько механизмов рассеяния: электрон-электронный, электрон-магнонный и электрон-примесный.
2. Установлено, что обнаруженный низкотемпературный минимум электросопротивления в нулевом магнитном поле и большой магниторезистивный эффект, растущий при понижении температуры, можно, объяснить в рамках модели спин-поляризованного туннелирования носителей тока через границы гранул.
3. Установлены закономерности изменения универсальных критических параметров теплоемкости вблизи точки фазового перехода. Все исследованные образцы вплоть до $t_{min} \approx 10^{-3}$ ($t=(T-T_C)/T_C$) соответствуют ферромагнитному гейзенберговскому $3D$ классу универсальности критического поведения. Показано, что класс универсальности критического поведения теплоемкости манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ не зависит от концентрации серебра.

4. Выявлена аналогия между влиянием допирования и магнитного поля на температурную зависимость теплоемкости системы $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$.
5. Установлено, что фононный механизм теплопередачи является доминирующим. Наблюдаемые при T_C аномалии в теплопроводности и термодиффузии связываются с критическими рассеяниями фононов на флуктуациях магнитного параметра порядка, а резкое возрастание теплопроводности ниже T_C – с ослаблением рассеяния фононов на искажениях Яна-Теллера.
6. Показано, что в манганитах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ наблюдаются большие значения магнитокалорического эффекта (изменение магнитной энтропии $\Delta S \approx 6$ Дж/кг К при $\Delta H = 26$ кЭ) вблизи комнатных температур, что делает данные материалы реальными кандидатами в качестве рабочего тела для устройств магнитного охлаждения, работающих при комнатных температурах.

Цитированная литература:

1. Ш.Б. Абдувагидов, И.К. Камилов, Г.М. Шахшаев // ПТЭ, №5, 134-140 (1996).
2. M. Battabyal and T K Dey // J. Phys.: Condens. Matter, **18**, 493-505 (2006).
3. Н.И. Солин, В.В. Машкауцан, А.В. Королев и др. // Письма в ЖЭТФ **77**, 275 (2003).
4. Н.Г. Бебенин, Р.И. Зайнуллина, В.В. Машкауцан др. // ФТТ **43**, 482-488 (2001).
5. M.I. Auslender, E. Rozenberg, A.E. Karkin et al. // J. of Alloys and Comp. **326**, 81 (2001).
6. P. Raychaudhuri, T.K. Nath, A.K. Nigam, R. Pinto // J.Appl.Phys. **84**, 2048 (1998).
7. И.К. Камилов, А.К. Муртазаев, Х.К. Алиев // УФН, **169**, 773-795 (1999).
8. M. Kar, A. Perumal and S. Ravi // Phys. stat. sol. (b) **243**, 1908-1913 (2006).
9. J.L. Cohn, J.J. Neumeier, C.P. Popoviciu et al. // Phys. Rev. B, **56**, R8495 (1997).
10. M.H. Phan and S.C. Yu // JMMM **308**, 325 (2007).

Публикации по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, А.Б. Батдалов, Ш.Б. Абдулвагидов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Магнитокалорический эффект в Ag-допированных манганитах лантана // *Письма в ЖТФ*, Т.32, №11, С.16-21 (2006).
2. O.V. Melnikov, O.Yu. Gorbenko, A.R. Kaul, A.M. Aliev, **A.G. Gamzatov**, Sh.B. Abdulvagidov, A.B. Batdalov, R.V. Demin, L.I. Koroleva, Electrical and magnetic properties of the $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ recrystallized ceramic // *Functional Materials*, 13, N 2, P.323-327 (2006).
3. **А.Г. Гамзатов**, Ш.Б. Абдулвагидов, А.М. Алиев, К.Ш. Хизриев, А.Б. Батдалов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко, А.Р. Кауль. Теплоемкость

- манганита $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$ вблизи точки Кюри // *Физика твердого тела*, Т.49, №9, С.1686-1689 (2007).
4. И.К. Камиллов, **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, А.Б. Батдалов, Ш.Б. Абдулвагидов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко, А.Р. Кауль. Электрические и тепловые свойства манганита $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ // *Физика низких температур*, Т.33, №.10, С.1091-1096 (2007).
 5. И.К. Камиллов, **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, А.Б. Батдалов, Ш.Б. Абдулвагидов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко, А.Р. Кауль. Кинетические эффекты в манганитах $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) // *ЖЭТФ*, Т.132, № 4, С.885-894 (2007).
 6. **A.G. Gamzatov**, K.Sh. Khizriev, A.M. Aliev, Sh.B. Abdulvagidov, A.B. Batdalov, O.Y. Gorbenko, O.V. Melnikov. Critical behaviour of specific heat of $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$ manganite // *Physica B*, V.390 P.155-158 (2007).
 7. I.K. Kamilov, **A.G. Gamzatov**, A.M. Aliev, A.B. Batdalov, A.A. Aliverdiev, Sh.B. Abdulvagidov, O.V. Melnikov, O.Y. Gorbenko, A.R. Kaul. Magnetocaloric effect in the $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) – direct and indirect measurements // *Journal of Physics D: Applied Physics*, V.40, P.4413-4417 (2007).
 8. **А.Г. Гамзатов**, Ш.Б. Абдулвагидов, А.М. Алиев, А.Б. Батдалов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Зависимость теплоемкости манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ от содержания Ag // *Письма в ЖЭТФ*, Т.86, №5, С.393-396 (2007).
 9. **А.Г. Гамзатов**. Комплексное исследование теплофизических свойств манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) // *Перспективные материалы, специальный выпуск* (5), С.284-288 (2008).
 10. **А.Г. Гамзатов**, К.Ш. Хизриев, А.Б. Батдалов, Ш.Б. Абдулвагидов, А.М. Алиев, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Критическое поведение теплоемкости манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ ($x=0,1; 0,15; 0,2$) в окрестности точки Кюри // *Физика низких температур*, Т.35, №.3, С.284-289 (2009).
 11. **А.Г. Гамзатов**, А.Б. Батдалов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Спин-поляризованный транспорт в манганите $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ // *Физика низких температур*, Т.35, №.3, С.290-294 (2009).
 12. **А.Г. Гамзатов**, А.Б. Батдалов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Низкотемпературный минимум в электросопротивлении манганита $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ // *Известия РАН, Серия Физическая*, Т.73, №.9, С.1079-1081 (2009).
 13. **А.Г. Гамзатов**, А.С. Манкевич. Магнитокалорические свойства манганитов $\text{La}_{1-x}(\text{Ag},\text{K})_x\text{MnO}_3$ // *Краткие сообщения по физике*, Т.36, №.12, С.34-36 (2009).

В других изданиях:

14. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, А.Б. Батдалов, Ш.Б. Абдулвагидов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко, А.Р. Кауль. Электрические, тепловые и упругие свойства манганита $\text{La}_{0.8}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ // Журнал «Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы» (Электронный журнал – www.ptosnm.ru), 2006, № 5, С.1-3.

15. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, Ш.Б. Абдулвагидов, А.Б. Батдалов, О.Ю. Горбенко. Теплоемкость и электросопротивление манганита $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$ в полях до 26 кЭ // Сборник трудов XIX Международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники», Москва, 28 июля 2004 г., С.499-500.
16. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, Ш.Б. Абдулвагидов, А.Б. Батдалов, О.Ю. Горбенко, О.В. Мельников. Термодиффузия, теплопроводность и магнитокалорический эффект в $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$ // Сборник трудов Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, 21-25 сентября 2004г., С.175-178.
17. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, О.В. Мельников. Анизотропия магнитосопротивления в манганитах // Тезисы докладов V-го молодежного семинара по проблемам физики конденсированного состояния вещества, Екатеринбург, 29 декабрь-5 ноябрь, 2004г., С.10.
18. **A.G. Gamzatov**, K.Sh. Khizriev, A.M. Aliev, Sh.B. Abdulvagidov, A.B. Batdalov, O.Y. Gorbenko, O.V. Melnikov. Critical behaviour of specific heat of $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$ manganite // Moscow International Symposium on Magnetism dedicated to the 250 anniversary of Moscow State University, June 25-30, 2005, Book of Abstracts 28PO-6-40, P.383-384.
19. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, Ш.Б. Абдулвагидов, А.Б. Батдалов, О.Ю. Горбенко, О.В. Мельников. Теплофизические свойства манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ // Сборник трудов XI Российской конференции по теплофизическим свойствам веществ, Санкт-Петербург, 4-7 октября 2005г., том-2, С.171.
20. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, Ш.Б. Абдулвагидов, А.Б. Батдалов, О.Ю. Горбенко, О.В. Мельников, А.Р. Кауль. Кинетические свойства и теплоемкость твердых растворов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) // Сборник трудов 8-го Международного симпозиума «Фазовые превращения в твердых растворах и сплавах», ОМА-2005., Ростов-на-Дону - Сочи, п. Лоо, 12–16 сентября 2005г., часть-2, С. 27-29.
21. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, Ш.Б. Абдулвагидов, А.Б. Батдалов, О.Ю. Горбенко, О.В. Мельников, А.Р. Кауль. Низкотемпературная теплоемкость манганита $\text{La}_{0.9}\text{Ag}_{0.1}\text{MnO}_3$ // Сборник трудов 8-го Международного симпозиума «Порядок, беспорядок и свойства оксидов», ODPO-2005, Ростов-на-Дону - Сочи, п. Лоо, 19–22 сентября 2005г., часть-2, с. 37-39.
22. **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, А.Б. Батдалов, Ш.Б. Абдулвагидов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Электрические и магнитокалорические свойства манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) // Сборник трудов Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, 12-15 сентября 2007г., Б2-10, С.147-150.
23. **А.Г. Гамзатов**, Ш.Б. Абдулвагидов, А.М. Алиев, А.Б. Батдалов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Теплоемкость манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.1$;

- 0.15 и 0.2) // Сборник трудов Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, 12-15 сентября 2007г., Б2-18, С.179-182.
24. **A.G. Gamzatov**, A.M. Aliev, A.B. Batdalov, A.A. Aliverdiev, Sh.B. Abdulvagidov, O.V. Melnikov, O.Y. Gorbenko. Thermal properties and large magnetocaloric effect in $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) manganites at room temperatures // Second IIF-IIR International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Portoroz, Slovenia, 11-13 April 2007. P.33-38.
25. **А.Г. Гамзатов**, А.Б. Батдалов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Низкотемпературный минимум в электросопротивлении манганита $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ // Сборник трудов XI-го Международного симпозиума «Упорядочение в минералах и сплавах», Ростов-на-Дону - Сочи, п. Лоо, 10-15 сентября 2008г., С.29-32.
26. **А.Г. Гамзатов**, А.Б. Батдалов, А.М. Алиев, Ш.Б. Абдулвагидов, О.В. Мельников, О.Ю. Горбенко. Комплексное исследование теплофизических свойств манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Ag}_y\text{MnO}_3$ ($y \leq x$) // Сборник трудов XI-го Международного симпозиума «Порядок, беспорядок и свойства оксидов», Ростов-на-Дону - Сочи, п. Лоо, 16-21 сентября 2008г., С.215-218.
27. **А.Г. Гамзатов**, К.Ш. Хизриев, А.М. Алиев, Ш.Б. Абдулвагидов. Критическое поведение теплоемкости манганитов допированных Ag // Сборник трудов XXI Международной конференции «Новое в магнетизме и магнитных материалах», Москва, 28 июня – 4 июля 2009г., С.738-740.
28. **А.Г. Гамзатов**, А.Б. Батдалов. Количественный анализ температурной зависимости электросопротивления манганита $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ // Сборник трудов XXI Международной конференции «Новое в магнетизме и магнитных материалах», Москва, 28 июня – 4 июля 2009г., С.1007-1009.
29. **А.Г. Гамзатов**, **А.Б. Батдалов**. Корреляция электрических, магнитных и теплофизических свойств манганита $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ вблизи температуры фазового перехода // Сборник трудов Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела», Минск, 20-23 октября 2009г., том 1, С.54-57.
30. **А.Г. Гамзатов**, Корреляция между электрическими, магнитными и решеточными свойствами манганита $\text{La}_{0.85}\text{Ag}_{0.15}\text{MnO}_3$ // Сборник трудов VI Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов, Москва, ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, 17-19 ноября 2009г. С.34-38.
31. А.Б. Батдалов, **А.Г. Гамзатов**, А.М. Алиев, Электро- и теплофизические свойства манганитов допированных одновалентными металлами // Сборник трудов Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, 21-23 ноября 2010г., С.170-171.

Подписано в печать 17.11.2011г.
Формат 60x84_{1/16}. Печать ризографная. Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс». Усл. п. л. 1. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии АЛЕФ, ИП Овчинников М.А.
Тел.: +7-928-264-88-64, +7-903-477-55-64, +7-988-2000-164