

На правах рукописи

ШАРИПОВ КАМИЛЬ РАШИТОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ  
ФЕРРОМАГНИТНЫХ КЛАСТЕРОВ  
В ЛЕГИРОВАННЫХ МАНГАНИТАХ ЛАНТАНА**

01.04.11 – физика магнитных явлений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Казань-2014

Работа выполнена в лаборатории радиоспектроскопии диэлектриков  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Казанского  
научного центра Российской Академии наук (КФТИ КазНЦ РАН).

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник  
КФТИ КазНЦ РАН  
**Ерёмина Рушана Михайловна**

Официальные  
оппоненты: **Усачёв Александр Евгеньевич,**  
доктор физико-математических наук, профессор  
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный  
энергетический университет»

**Зверева Елена Алексеевна,**  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
ФГБОУ ВПО «Московский государственный  
университет им. М.В. Ломоносова»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный  
университет» (г. Уфа)

Защита состоится « 03 » октября 2014 г. в 14<sup>30</sup> часов на заседании  
диссертационного совета Д 002.191.01 при Федеральном государственном  
бюджетном учреждении науки КФТИ КазНЦ РАН, по адресу: 420029,  
Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте  
<http://kfti.knc.ru/about-institute/sovety/dissertation-council/announcements>  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Казанский  
физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН.

Отзывы на автореферат (два заверенных экземпляра) просим  
отправлять по адресу: 420029, Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7.

Автореферат разослан «    »                      2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук

Хайбуллин Р.И.

## Общая характеристика работы

### Актуальность работы.

Интерес к легированным манганитам  $L_{1-x}M_xMnO_3$ , где L – это трехвалентный катион из группы лантаноидов, а M – двухвалентный щелочноземельный металл (например, Ca, Ba или Sr) связан с богатым набором их физических свойств и возможностью практического применения в спинтронике. В этих соединениях при определенном процентном соотношении между  $Mn^{3+}$  и  $Mn^{4+}$  возможно формирование различных видов зарядовых упорядочений, и сверхструктур. Орбитальные, зарядовые и спиновые степени свободы взаимосвязаны, что приводит к образованию в них различного типа фазовых неоднородностей вблизи границы раздела фаз [1, 2]. Из-за кулоновского отталкивания такие нанобласти стремятся отделиться друг от друга.

Ферромагнитно коррелированные области обнаружены ранее различными методами на соединениях типа  $La_{1-x}Sr_xMnO_3$  и  $La_{1-x}Ba_xMnO_3$  [3, 4]. Однако, область существования их на фазовой диаграмме довольно узкая, что не позволяет уверенно регистрировать температурные и концентрационные зависимости сигналов ферромагнитного резонанса в парамагнитной фазе. Поэтому изучение соединений, в которых температурный диапазон существования ферромагнитных нанобразований в парамагнитной фазе шире, является актуальной задачей. С этой целью в качестве **объектов** исследования были выбраны манганиты лантана с дополнительным разбавлением диамагнитными ионами  $Zn^{2+}$  и  $Eu^{3+}$ :  $Eu_{0.6}La_{0.4-x}Sr_xMnO_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2; 0.3$ ) и  $La_{1-x}Sr_xMn_{1-y}Zn_yO_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115; y=0.075$ ).

В диссертации представлены результаты экспериментального исследования явления фазового расслоения в манганитах  $Eu_xLa_{1-x-y}Sr_yMn_{1-z}Zn_zO_3$ , типа перовскита  $ABO_3$  при замещении позиции А ионами европия и В ионами цинка методами магнитного резонанса и магнитометрии.

**Основной целью** диссертационной работы является выделение на фазовой диаграмме  $T$ - $x$  (температура-концентрация) области фазового расслоения в легированных манганитах лантана  $Eu_{0.6}La_{0.4-x}Sr_xMnO_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2; 0.3$ ) и определение физических характеристик ферромагнитно коррелированных областей спинов в парамагнитной керамике  $La_{1-x}Sr_xMn_{1-y}Zn_yO_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ).

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Провести температурные измерения спектров магнитного резонанса и магнитной восприимчивости легированных манганитов  $Eu_{0.6}La_{0.4-x}Sr_xMnO_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2; 0.3$ ) и  $La_{1-x}Sr_xMn_{1-y}Zn_yO_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ).

2. Построить и проанализировать температурные зависимости интегральной интенсивности, ширины и положения линии магнитного резонанса и магнитной восприимчивости соединений  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2; 0.3$ ),  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ) в рамках, предложенных в литературе теоретических моделей.

3. На основе анализа полученных данных построить фазовую диаграмму существования ферромагнитных кластеров в парамагнитной фазе для соединений  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2; 0.3$ ) и  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ), получить физические характеристики обнаруженных ферромагнитно коррелированных областей.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Путем дополнительного допирования манганитов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ионами  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Eu}^{3+}$  существенно расширен температурный диапазон существования ферромагнитных нанообъектов в парамагнитной фазе легированных манганитов лантана.

2. Впервые получены и проанализированы температурные зависимости интегральной интенсивности, ширины, положения линий магнитного резонанса и магнитной восприимчивости в широком температурном диапазоне от 90 до 400 К соединений  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2; 0.3$ ) и  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115; y=0.075$ ).

3. Впервые построена фазовая диаграмма  $T$ - $x$  (температура-концентрация) существования ферромагнитных кластеров в парамагнитной фазе для соединений  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2$ )

4. Из анализа температурных зависимостей интегральной интенсивности, ширины и положения линии магнитного резонанса впервые определены величина магнитной анизотропии и размер ферромагнитно коррелированных областей спинов в парамагнитной керамике  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115; y=0.075$ ).

**Научная и практическая значимость** работы заключается в следующем:

Проведенные исследования позволили выявить новые особенности фазового расслоения в легированных манганитах, оценить размеры ферромагнитно коррелированных областей и параметры магнитной анизотропии новых соединений - манганитов лантана  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  и  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$ , допированных стронцием, европием и цинком. Полученные результаты будут полезны при изучении аналогичных допированных соединений и расширяют перспективы практического применения легированных манганитов в спинтронике.

**На защиту выносятся следующие результаты и положения:**

1. Экспериментальное обнаружение явления фазового расслоения в соединениях  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2$ ) и  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ), заключающегося в образовании ферромагнитных кластеров в объеме матрицы, находящейся в парамагнитном состоянии.

2. Границы существования гриффитс-подобной фазы на фазовой диаграмме  $T$ - $x$  (температура-концентрация) в соединениях  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ .
3. Определение параметров магнитной анизотропии и размеров ферромагнитно коррелированных областей, наблюдающихся в парамагнитной фазе керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ).

**Достоверность** выводов и результатов работы обеспечена комплексным характером выполненных экспериментальных исследований, непротиворечивостью результатов, полученных различными методами, а также совпадением части результатов с данными, полученными другими авторами на родственных соединениях. Все эксперименты и исследования выполнены на сертифицированном оборудовании.

### **Апробация работы.**

Основные результаты работы докладывались на следующих научных конференциях и школах: «Конференция Молодых ученых Казанского физико-технического института», 23 марта 2009 года, Казань; «XV Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых», ВНКСФ-15, 26 марта – 2 апреля 2009 года, Кемерово — Томск; XII Международная Научная Молодежная Школа «Актуальные проблемы магнитного резонанса и его применений», 5 – 9 октября 2009 года, Казань; «Конференция Молодых ученых Казанского физико-технического института», 13 апреля 2010 года, Казань; XIII Международный, междисциплинарный симпозиум «Порядок, беспорядок и свойства оксидов», ODPO-13, 16 – 21 сентября 2010 года, Ростов-на-Дону — пос. Лоо; XIV Международный, междисциплинарный симпозиум «Порядок, беспорядок и свойства оксидов», ODPO-14, 14 – 19 сентября 2011 года, Ростов-на-Дону — пос. Лоо; Международная конференция «Спиновая физика, спиновая химия и спиновые технологии», 1 – 5 ноября 2011 года, Казань; «XII Всероссийская молодежная школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества», СПФКС-12, 14 – 20 ноября 2011 года, Екатеринбург; VIII Зимняя молодежная школа-конференция с международным участием «Магнитный резонанс и его приложения», Spinus, 28 ноября – 3 декабря 2011 года, Санкт-Петербург; Молодежная научная школа «Магнитный резонанс и магнитные явления в химической и биологической физике», 16 - 21 июля 2012, Новосибирск; XV Международный, междисциплинарный симпозиум «Порядок, беспорядок и свойства оксидов», ODPO-15, 7 – 12 сентября 2012 года, Ростов-на-Дону — пос. Лоо; XXII Международная конференция «Новое в магнетизме и магнитных материалах», НМММ-XXII, 17 сентября – 21 сентября 2012 г., Астрахань; II конференция «Молодежь и инновации Татарстана», 10 – 12 октября 2012 г., Казань; XV Международная Научная Молодежная Школа «Актуальные проблемы магнитного резонанса и его

применений», 22 – 26 октября 2012 года, Казань; III конференция «Молодежь и инновации Татарстана», 16 – 17 апреля 2013 г., Казань; Международный симпозиум «Modern development of magnetic resonance», 24 – 28 сентября 2013 г., Казань; V конференция «Молодежь и инновации Татарстана», 15 – 16 апреля 2014 г., Казань; «Итоговая конференция молодых ученых Казанского физико-технического института», 24 апреля 2014 г.

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 22 печатных работах, в том числе 3 статьи в ведущих рецензируемых журналах [A1-A3], включенных в перечень ВАК, 19 публикаций в сборниках материалов и тезисов докладов, представленных на вышеперечисленных конференциях [A4-A22].

**Личный вклад автора** состоит в проведении измерений спектров магнитного резонанса в широком температурном диапазоне в керамике  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$ , в математической обработке температурных зависимостей спектров магнитного резонанса в  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  и  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$ , в интерпретации экспериментальных данных, апробации полученных результатов на конференциях и семинарах разного уровня, в написании статей.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка авторской и цитируемой литературы и благодарностей; содержит 130 страниц текста, включая 36 рисунков и 3 таблицы. Библиография содержит 110 наименований.

### **Благодарности**

Автор работы выражает благодарность: научному руководителю Ереминой Р.М. за постановку задачи и научное руководство; Баделину А.Г., Глазырину К.В., Муковскому Я.М., Евсеевой А.В. за приготовление образцов; Пятаеву А.В. за измерения мёссбауэровских спектров; Фазлижанову И.И., Мингалиевой Л.В., Х.-А. Круг фон Нидда, Н. Пачер за оказанную поддержку в проведении экспериментов; Файзрахманову И.А. за измерения на электронном сканирующем микроскопе с микроанализом EVO SOXVP изучаемых образцов.

### **Содержание работы**

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, приведены основные положения, выносимые на защиту и дана краткая аннотация глав диссертации.

**В первой главе** приведен краткий литературный обзор свойств допированных манганитов, особенностей и характеристик спектров магнитного резонанса данных соединений. Обсуждаются предложенные в литературе модели, привлекаемые для интерпретации спектров магнитного

резонанса допированных манганитов.

**Во второй главе** изложены результаты измерений температурных зависимостей магнитной восприимчивости и спектров магнитного резонанса  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $0.1 \leq x \leq 0.2$ ).

Однородные кристаллические стержни  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2$ ) были выращены методом зонной бестигельной плавки с тепловым нагревом в НИТУ «МИСиС» К.В. Глазыриным, под руководством Я.М. Муковского.

Магнитные измерения проводились на сверхпроводящем квантовом магнитометре MPMS5 (Quantum Design) в магнитных полях до величин  $H \leq 50$  кЭ в диапазоне температур  $1.8\text{K} \leq T \leq 400$  К. Результаты магнитных измерений представлены на рис.1. Для всех рассматриваемых образцов были получены зависимости намагниченности от магнитного поля, измеренные при  $T = 2\text{K}$ . Для  $x = 0.1$  наблюдается петля гистерезиса с коэрцитивным полем около 5 кЭ и остаточным магнитным моментом около  $0.6\mu_B$  на элементарную ячейку. С ростом магнитного поля намагниченность идет к насыщению до значения, близкого к  $2\mu_B$ , то есть намного ниже возможного максимального значения насыщения  $3.9\mu_B$ , ранее наблюдавшееся в скошенном антиферромагнетике  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  для  $x < 0.1$  [5]. По мере увеличения концентрации стронция ширина гистерезиса уменьшается и практически исчезает при  $x = 0.2$ . В то же время магнитный момент, определенный в максимальном поле 50кОе (треугольники в верхней части рис. 1), линейно возрастает по мере увеличения концентрации стронция  $x$ , достигая значение около  $3\mu_B$  на элементарную ячейку для  $x = 0.2$ , и затем остается неизменным при повышении значения  $x$ . В отличие от  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ , где полное ферромагнитное упорядочение уже наступает при  $x = 0.1$ , в европиевых манганитах величина магнитного момента (рис.1, пунктирная линия) по-прежнему значительно ниже ожидаемого значения при ферромагнитном упорядочении всех спинов марганца.

Примечательно, что для всех рассматриваемых концентраций Sr, за исключением  $x = 0.3$ , выше температуры  $T_N$ , но ниже  $T_G \approx 270$  К температурное поведение намагниченности ZFC и FC отличается. Это указывает на наличие ферромагнитных включений в парамагнитной области ниже определенной температуры  $T_G \approx 270$  К, как и в  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  при  $0.075 \leq x \leq 0.15$ , где на фазовой диаграмме наблюдалась треугольная область Гриффитс-фазы [3]. Для  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  с  $0.17 \leq x \leq 0.3$  проявляется другая более слабая аномалия в температурной зависимости магнитной восприимчивости при  $T' \approx 350$  К, которая соответствует максимальной температуре перехода в ферромагнитное состояние, наблюдаемой в  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  при  $x \approx 0.4$  [6].

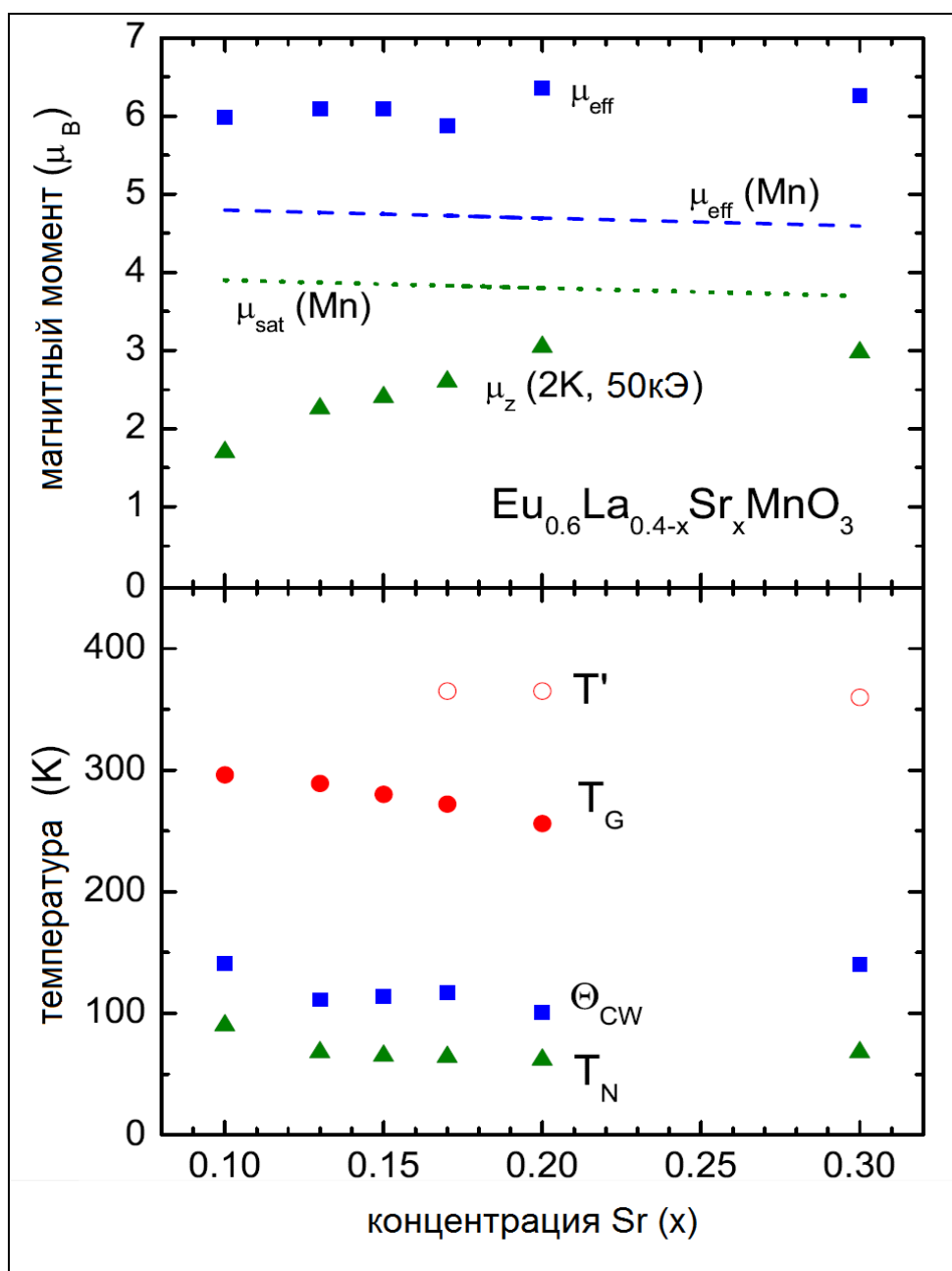


Рисунок 1 – На верхнем графике: эффективные значения магнитного момента  $\mu_{eff}$  (квадраты ■), определяемые из температурной зависимости магнитной восприимчивости и  $z$  компоненты намагниченности  $\mu_z$  (треугольники ▲) в упорядоченной фазе, измеренные при  $T = 2\text{K}$  в магнитном поле  $H = 50\text{kOe}$ . Штрихпунктирная и пунктирная линии показывают теоретически рассчитанные значения эффективного и насыщенного моментов, соответственно.

На нижнем графике: температура Кюри  $\Theta_{CW}$  (квадраты ■), температура магнитного упорядочения  $T_N$  (треугольники ▲) и температуры Гриффитса  $T_G$  (круги ●) и  $T'$  (окружности ○), зависящие от концентрации Sr.



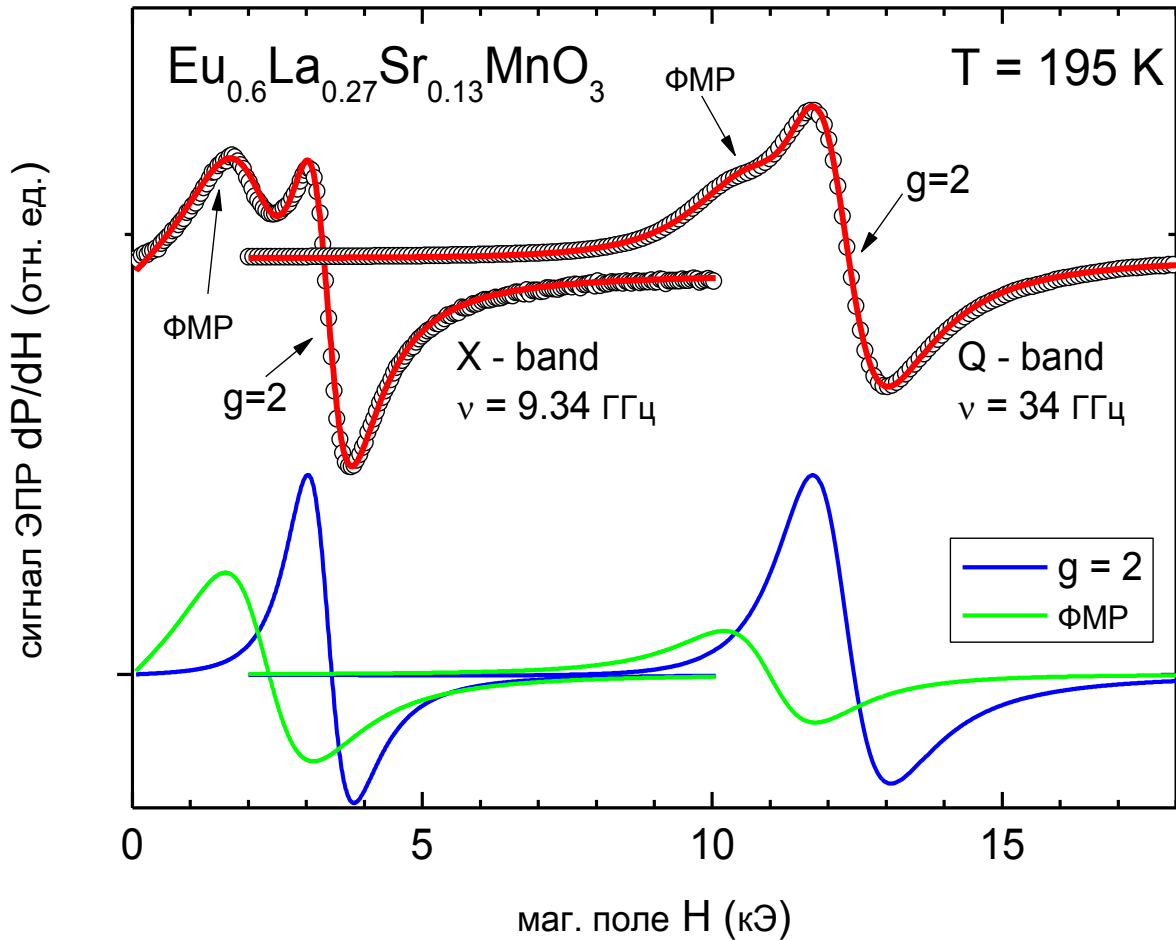


Рисунок 2 – Спектр магнитного резонанса  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.27}\text{Sr}_{0.13}\text{MnO}_3$  при температуре  $T = 195\text{K}$  в X- и Q- диапазонах. Спектр состоит из сигналов парамагнитного резонанса с  $g \approx 2$  и ферромагнитного резонанса (ФМР) Сплошная линия – аппроксимация суммой двух линий Дайсона [7].

Измерения ЭПР проводились на спектрометре Bruker ELEXSYS E500-SW, работающем в X- (9.4 ГГц) и Q-диапазонах (34 ГГц) частот, оснащенный криостатами непрерывного потока He (Oxford Instruments), в диапазоне температур  $4.2 \leq T \leq 300\text{ K}$ . На рисунке 2 показаны характерные спектры ЭПР, полученные в X-диапазоне и Q-диапазонах для  $x = 0.13$  при промежуточной температуре между  $T_N$  и  $T_G$ , которые были определены по аппроксимации температурной зависимости магнитной восприимчивости. Для обеих частот, помимо линии парамагнитного резонанса со значением  $g$  фактора близкого к  $g \approx 2$ , обусловленного спинами  $\text{Mn}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{4+}$  [8], в спектре ЭПР появляется вторая линия с резонансным значением поля приблизительно на 1 кЭ ниже линии парамагнитного сигнала. Она принадлежит ферромагнитным кластерам [3]. Об этом свидетельствуют:

зависимость эффективного  $g$ - фактора данной линии от частоты – его максимальное значение в  $X$ - диапазоне равно  $g \approx 3$ , а в  $Q$ - диапазоне  $g \approx 2.4$ ; отклонение положения этой линии ферромагнитного резонанса от сигнала на  $g \approx 2$  не зависит от частоты, на которой зарегистрирован спектр, и составляет примерно 1000 Э.

Сигналы ферромагнитного резонанса наблюдались в парамагнитной области выше  $T_N$  в соединениях  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  с концентрациями  $\text{Sr } x = 0.13, 0.15, 0.17$  и  $0.2$ . Все эти сигналы отделяются от парамагнитного сигнала ниже температуры 270К, которая практически не зависит от  $x$ , и соответствует температуре Гриффитса  $T_G$  на фазовой диаграмме выше температуры  $T_C$  (см. рис.1). Похожее поведение линий наблюдалось в спектрах ЭПР монокристаллов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  и  $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$ , когда магнитное поле прикладывалось перпендикулярно оси  $c$  [4, 5]. Однако, сильная анизотропия, наблюдавшаяся для ферромагнитной линии в соединениях  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  и  $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$ , не была обнаружена в  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ . Это, вероятно, можно объяснить двойникованием исследуемых монокристаллов. В результате чего спектры становятся аналогичны спектрам порошковых образцов.

Интенсивность линии ФМР в рассматриваемых соединениях по величине на порядки больше, чем интенсивность линий ФМР в  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  [3], а интервал температурной области  $T_N \leq T \leq T_G$ , в котором наблюдается сигнал, при этом составляет около 200К. Таким образом, можно проследить поведение линии ферромагнитного резонанса в парамагнитной области в широком диапазоне температур. Температурные зависимости интегральных интенсивностей сигналов, как парамагнитного ( $g \approx 2$ ), так и ферромагнитного резонанса, полученных в  $X$ - и  $Q$ - диапазонах частот, представлены на рисунке 3.

Имеется еще один аргумент в пользу наблюдения сигнала от ферромагнитных областей. Известно, что интенсивность линии парамагнитного сигнала увеличивается линейно с полем, а интенсивность линии ферромагнитной природы (ФМР) должна быть независима от поля, как только намагниченность достигнет насыщения. Действительно, на частоте  $Q$ -диапазона интенсивность низкополевой линии начинает уменьшаться по отношению к интенсивности линии парамагнитного сигнала, по сравнению с результатами измерений в  $X$ -частотном диапазоне, что подтверждает природу низкополевого сигнала [9].

Во всех рассматриваемых соединениях интенсивность сигнала ФМР сначала увеличивается с понижением температуры, проходит максимум, а затем вновь уменьшается. Положение максимума интенсивности ферромагнитного сигнала зависит от степени допирования ионами стронция  $x$ , и варьируется в интервале от 140К до 160 К в  $X$ -диапазоне частот, в  $Q$ -диапазоне частот максимум интенсивности сдвинут примерно на 30К выше этого интервала.

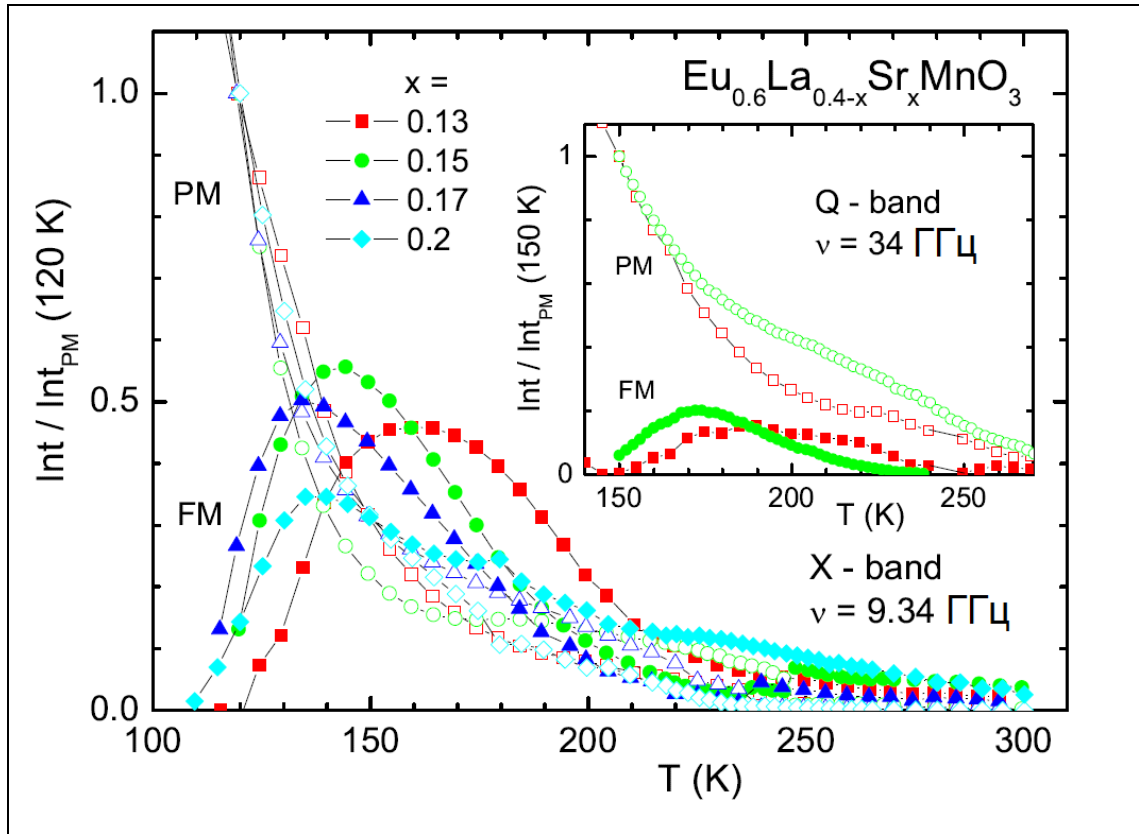


Рисунок 3 – Температурные зависимости интенсивностей парамагнитной PM (прозрачные символы) и ферромагнитной FM (заполненные символы) линий в спектре магнитного резонанса  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ , регистрируемые на 9.34 ГГц (основной рисунок) и 34 ГГц (вставка).

В температурной области выше температуры Кюри и до 260 К в поведении интегральной интенсивности сигнала парамагнитного сигнала с  $g \approx 2$  наблюдается отклонение от закона Кюри.

Интегральная интенсивность линии ферромагнитного резонанса в магнитном поле Q-диапазона много меньше, чем в X-диапазоне. Сравним отношение интегральных интенсивностей сигналов с  $g \approx 2$  и линии ферромагнитного резонанса при температуре 200 К для образца состава  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.25}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$  (рисунок 3). В X-диапазоне это соотношение примерно равно 1. В Q-диапазоне интегральная интенсивность сигнала ЭПР с  $g \approx 2$  в 4.5 раз больше интенсивности ФМР. Максимальное значение интегральной интенсивности ФМР в X-диапазоне наблюдается при  $T = 144 \text{ K}$ , а в Q-диапазоне при  $T = 172 \text{ K}$ . В Q-диапазоне резонансное магнитное поле наблюдения сигнала увеличивается примерно в 4 раза по сравнению с X-диапазоном, что приводит к подавлению интегральной интенсивности сигнала ферромагнитного резонанса в 4.5 раза и смещению максимума интегральной интенсивности примерно на 30 К.

Представленные во второй главе результаты опубликованы в [A1].

В третьей главе приведены экспериментальные результаты по изучению магнитных и проводящих свойств керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ) методом магнитного резонанса, по измерениям намагниченности и удельной проводимости.

Образцы синтезированы А.Г. Баделиным по керамической технологии в Астраханском государственном университете.

Измерения температурных зависимостей проводимости образцов в нулевом магнитном поле и в поле  $H=9240\text{Э}$  показали, что исследованные манганиты имеют полупроводниковый характер зависимости сопротивления от температуры. Для образца с содержанием стронция  $x=0.095$  в температурной области от 190К до 228К наблюдается ярко выраженный скачок в температурной зависимости удельного сопротивления от магнитного поля. Аппроксимация температурных зависимостей проводимости образцов выполнена в рамках модели прыжковой проводимости полярона малого радиуса в парамагнитном состоянии [2]:

$$\sigma(T) = \frac{A}{T} \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right), \quad (1)$$

где  $A$  – константа,  $E_a$  – энергия активации,  $k_B$  – постоянная Больцмана. Установлено, что энергия активации проводимости в интервале температур от 160 до 200К уменьшается и для составов с содержанием стронция  $x=0.075; 0.095; 0.115$  составляет, соответственно, 0.05; 0.10; 0.11 эВ в области низких температур и 0.04 - 0.03 эВ вблизи 273 К.

Измерения спектров магнитного резонанса керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ) выполнены на спектрометре Bruker EMX/plus с использованием Temperature Controller RS 232 в интервале температур от 100 до 310 К в X– диапазоне.

Для всех образцов в спектре магнитного резонанса в измеряемом диапазоне температур наблюдается одна обменно-суженная линия [7], с g-фактором,  $g \approx 2$ , которая обусловлена ионами марганца  $\text{Mn}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{4+}$ . Характерный спектр магнитного резонанса для  $\text{La}_{0.925}\text{Sr}_{0.075}\text{Mn Zn}_{0.075}\text{O}_3$  показан на рисунке 4.

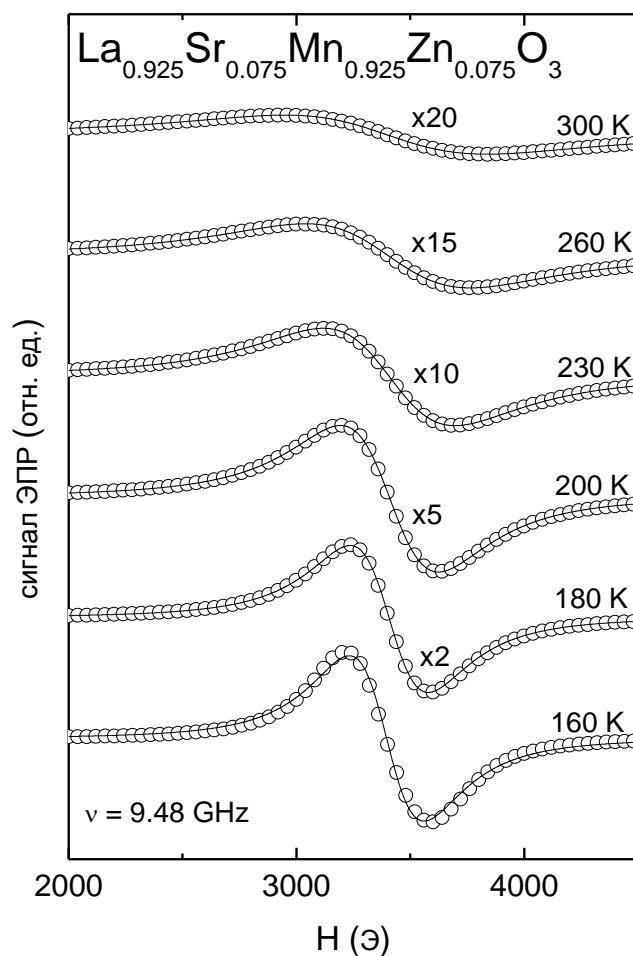


Рисунок 4 – Спектры магнитного резонанса  $\text{La}_{0.925}\text{Sr}_{0.075}\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  при температурах  $T = 160\text{-}300\text{K}$  в X- диапазоне. Сплошная линия – аппроксимация экспериментальных кривых формой линии Дайсона [7].

Температурная зависимость интегральной интенсивности сигналов магнитного резонанса получена двойным интегрированием. В температурной области ниже 180K для  $x=0.075, 0.095$  и  $0.115$  температурная зависимость интегральной интенсивности сигнала магнитного резонанса отклоняется от закона Кюри-Вейсса. Путем линейной экстраполяции высокотемпературной части обратной величины интегральной интенсивности  $1/I(T)$  к нулевому значению получена оценка температур Кюри  $\theta_{CW}$  исследуемых образцов. Величины  $\theta_{CW}$  составили 174 К, 165 К и 159 К для  $x = 7.5, 9.5$  и  $11.5$ , соответственно.

На рисунке 5 представлены температурные зависимости ширины и положения линии магнитного резонанса керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075; 0.095; 0.115$ ).

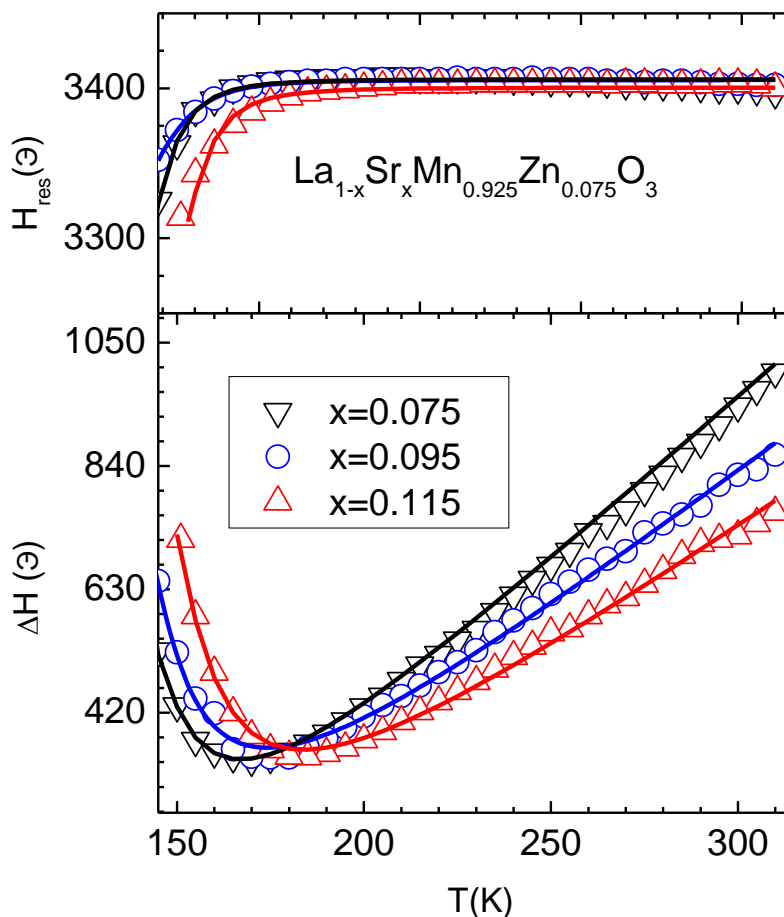


Рисунок 5 – Температурная зависимость ширины линии сигнала ЭПР керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  (треугольники  $\nabla$  –  $x=0.075$ , круги  $\circ$  –  $x=0.095$ , треугольники  $\triangle$  –  $x=0.115$ ).

В температурной зависимости ширины линии магнитного резонанса наблюдается минимум. С понижением температуры ширина линии магнитного резонанса начинает возрастать, предположительно, вследствие разброса направлений осей анизотропии суперпарамагнитных областей, что приводит к неоднородному уширению. С другой стороны, при повышении температуры ширина линии увеличивается, вероятно, из-за тепловых флуктуаций. При этом, как можно увидеть на рисунке 5, положение линии при понижении температуры сдвигается в более низкие магнитные поля из-за влияния поля анизотропии. Такое поведение температурных зависимостей положения и ширины линии магнитного резонанса качественно совпадает с ожидаемым поведением магнитного резонанса суперпарамагнитных

частиц [10]. Происхождение флуктуаций поля анизотропии в нашем случае обусловлено взаимосвязью проводимости и намагниченности. При повышении температуры в полупроводниках  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  подвижность носителей заряда растет, поляризующее действие спинов из-за перескока (двойного обмена) меняется, изменяя направление суммарного магнитного момента областей ферромагнитно коррелированных спинов. В связи с этим естественно попытаться более детально сопоставить результаты наблюдения с моделью суперпарамагнетизма, предложенной в [10].

Дополнительно необходимо учесть, что размеры ферромагнитно-коррелированных областей в исследуемых областях могут меняться с температурой. При понижении температуры, по мере приближения к температуре фазового перехода  $T^*$ , размер ферромагнитно коррелированной области возрастает, происходит перколяция и наблюдается упорядочение во всем объеме образца. Это приводит к тому, что эффективный магнитный момент  $\mu_{eff} = M \cdot V$  и эффективная энергия анизотропии  $W_{Aeff} = K_V \cdot V$  зависят от температуры, где  $M$  - намагниченность,  $K_V$  - энергия анизотропии,  $V$  - средний объем ферромагнитно коррелированной области. Для аппроксимации экспериментальных данных в температурном диапазоне выше  $T^*$  использованы феноменологические температурные зависимости эффективного магнитного момента и эффективной энергии анизотропии:

$$\mu_{eff} = \frac{\mu}{1 - T^*/T}, \quad (2)$$

$$W_{Aeff} = \frac{W_A}{1 - T^*/T}. \quad (3)$$

Для аппроксимации температурной зависимости ширины, положения и интенсивности линии магнитного резонанса использовались результаты теории Ю.Л. Райхера и В.И. Степанова [11], в которой получены выражения для высокотемпературного  $\Delta H_S$  и низкотемпературного  $\Delta H_U$  вкладов в ширину линии ансамбля суперпарамагнитных частиц с одноосной анизотропией, с учетом дополнений, введенных выше:

$$\Delta H_S = \frac{2\alpha}{\sqrt{3}} H_0 \frac{(\xi_0 - L_1)}{\xi_0 L_1}, \quad (4)$$

$$\Delta H_U = 3\sigma H_0 \frac{\xi_0 - 3L_1}{\xi_0^2 L_1}, \quad (5)$$

$$H_{res} = H_0 \left( 1 - 2\sigma \frac{(\xi_0 - 3L_1)^2}{\xi_0^3 L_1} \right), \quad (6)$$

$$I \sim \mu_{eff} L_1, \quad (7)$$

где  $H_0$  - резонансное значение магнитного поля,  $\xi_0 = \frac{\mu_{eff} H_0}{k_B T}$ ,

$L_1 = \coth \xi_0 - \frac{1}{\xi_0}$  - функция Ланжевена,  $\alpha$  - безразмерный коэффициент

релаксации,  $\sigma = \frac{W_{Aeff}}{k_B T}$ ,  $W_{Aeff}$  - эффективная энергия анизотропии суперпарамагнитной частицы.

Полученные из аппроксимации температурной зависимости ширины, положения и интенсивности линии магнитного резонанса исследуемых образцов величины намагниченности, энергия анизотропии ферромагнитно коррелированных областей, а также коэффициент затухания, температура упорядочения представлены в таблице 1. Поле анизотропии рассчитывалось по формуле  $H_A = 2W_A/\mu$  [12]. Температура  $T^*$  была определена из анализа температурных зависимостей интегральной интенсивности (по формуле (7)) и эффективного магнитного момента (по формуле (2)) с точностью  $\pm 10$  К.

Таблица 1 – Характеристики областей ферромагнитно коррелированных спинов  $La_{1-x}Sr_xMn_{0.925}Zn_{0.075}O_3$ . В первом столбце приведены значения магнитного момента, во втором столбце приведены значения энергии анизотропии, в третьем – значения полей анизотропии, в пятом – температуры упорядочения  $T^*$ , в шестом – температуры Кюри-Вейсса.

x	$\mu, \mu_B$	$K_V, 10^4 \text{ Дж/м}^3$	$H_A, \text{ Э}$	$T^*, \text{ К}$	$\theta_{CW}, \text{ К}$
0.075	179	4.08	678	132	174
0.095	176	2.99	506	134	165
0.115	175	4.43	753	135	159

Величина магнитного момента ферромагнитно коррелированных областей спинов в керамике  $La_{1-x}Sr_xMn_{0.925}Zn_{0.075}O_3$  составила  $\mu = (177 \pm 5) \cdot \mu_B$ , а безразмерный коэффициент релаксации  $\alpha = 0.025 \pm 0.005$  и резонансное поле  $H_0 = 3400 \pm 10$  Э. Принимая во внимание, что магнитный момент иона  $Mn^{3+}$  в перовскитах составляет порядка  $3.5 \mu_B$  [13], получаем, что ферромагнитно коррелированные области в исследуемых образцах содержат порядка 50 ионов марганца. Если учесть, что период решетки составляет порядка 5-7 Å [14], тогда средний линейный размер ферромагнитно коррелированной области составляет  $V \sim 1-2$  нм.

Результаты третьей главы опубликованы в [A2, A3].

**В заключении** перечислены основные результаты и выводы

1. Зарегистрированы спектры магнитного резонанса  $Eu_{0.6}La_{0.4-x}Sr_xMnO_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2$ ) в широком температурном диапазоне от 90 до 400 К, в X- и Q- диапазонах.
2. Получены температурные зависимости положения линий и интегральных интенсивностей спектров магнитного резонанса в  $Eu_{0.6}La_{0.4-x}Sr_xMnO_3$  с  $x=0.13; 0.15; 0.17$  и  $0.2$  в температурном интервале от 100К до 300К в X - и Q – диапазонах.



3. Установлены границы существования гриффитс-подобной фазы в соединениях  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ , ограниченной концентрациями  $0.1 \leq x < 0.3$  в температурной области  $T_C \leq T \leq T_G \approx 270\text{K}$ .
4. Измерены спектры магнитного резонанса в керамике  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  с различной концентрацией допирования ( $x=0.075$ ;  $0.095$ ;  $0.115$ ).
5. По данным измерений температурной зависимости проводимости керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  установлено, что при  $x=0.095$  в температурной области от  $190\text{K}$  до  $228\text{K}$  наблюдается ярко выраженная зависимость удельного сопротивления от магнитного поля. Для образцов с  $x=0.075$  и  $x=0.115$  подобное поведение не наблюдается.
6. По данным магнитного резонанса обнаружено существование электронного фазового расслоения в легированных цинком лантан – стронциевых манганитах  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075$ ;  $0.095$ ;  $0.115$ ).
7. Определены параметры магнитной анизотропии и установлены размеры ферромагнитно коррелированных областей в парамагнитной фазе керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075$ ;  $0.095$ ;  $0.115$ ), которые составляют порядка 1-2 нм.

### Список цитируемой литературы

- [1] Нагаев, Э.Л. Манганиты лантана и другие магнитные проводники с гигантским магнитосопротивлением/ Э.Л. Нагаев // УФН. – 1996. – Т. 166 – С. 833.
- [2] Характеристики фазово-расслоенного состояния манганитов и их связь с транспортными и магнитными свойствами / К.И. Кугель, А.О. Сбойчиков, А.Л. Рахманов и др. // ЖЭТФ – 2004. – Т. 125, №3 – С. 648.
- [3] Observation of a Griffiths Phase in Paramagnetic  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  / J. Deisenhofer, D. Braak, H.-A. Krug von Nidda et al. // Phys. Rev. Lett. – 2005. – Vol. 95. – P. 257202.
- [4] Определение области существования ферромагнитных nanoобразований в парафазе  $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$  методом ЭПР / Р. М. Еремина, И. В. Яцык, Я. М. Муковский // Письма в ЖЭТФ. – 2007. – Т. 85, №1 – С. 57.
- [5] Magnetic properties and the phase diagram of  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  for  $x \leq 0.2$  / M. Paraskevopoulos, F. Mayr, J. Hemberger et al. // J. Phys.: Condens. Matter. – 2000. – Vol. 12. – P. 3993.
- [6] Structural, magnetic, and electrical properties of single-crystalline  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $0.4 < x < 0.85$ ) / J. Hemberger, A. Krimmel, T. Kurz et al. // Phys. Rev. B. – 2002. – Vol. 66. – P. 094410.
- [7] Janhavi, P. J. On the analysis of broad Dysonian electron paramagnetic resonance spectra / P. J. Janhavi and S. V. Bhat // J. Magn. Reson. – 2004. – Vol. 168. – P. 284.
- [8] ESR study in lightly doped  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  / V. A. Ivanshin, J. Deisenhofer, H.-A. Krug von Nidda et al. // Phys. Rev. B. – 2000. – Vol. 61. – P. 6213.

- [9] Николаев, В.И. Об особенностях парапроцесса в системе наночастиц / В.И. Николаев, И.А. Род // ФТТ. – 2006. – Т. 48, №9. – С. 1690.
- [10] Райхер, Ю.Л. Влияние тепловых флуктуаций на форму линии ФМР в дисперсных ферромагнетиках / Ю.Л. Райхер, В.И. Степанов // ЖЭТФ. – 1992. – Т. 101, № 4 – С. 1409.
- [11] Raikher, Yu.L. Magnetization dynamics of single-domain particles by superparamagnetic theory / Yu.L. Raikher, V.I. Stepanov // JMMM. – 2007. – Vol. 316. – P. 417.
- [12] Гуревич, А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках / А.Г. Гуревич. – Москва: Наука. – 1973. – 591 с.
- [13] Магнитное упорядочение и магниторезистивный эффект в перовскитах  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x(\text{Mn}_{1-y}\text{Me}_y)\text{O}_3$  (Me = Nb, Mg) / И.О. Троянчук, Д.А. Ефимов, Д.Д. Халявин и др. // ФТТ. – 2000. – Т. 42, №1. – С. 81.
- [14] Structure and magnetic order in undoped lanthanum manganite / Q. Huang, A. Santoro, J. W. Lynn, et al. // Phys. Rev. B. – 1997. – Vol. 55. – P. 14987.

### Список публикаций автора по теме диссертации

- [A1] Phase separation in paramagnetic  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  / R.M. Eremina, I.I. Fazlizhanov, **K.R. Sharipov**, et al. // Phys. Rev. B. – 2011. – Vol. 84. – P. 064410:1-7.
- [A2] Исследование свойств керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075, 0.095, 0.115$ ) / Р.М. Еремина, **К.Р. Шарипов**, Л.В. Мингалиева и др. // ФТТ. – 2012. – Т. 54, №6. – С. 1090-1095.
- [A3] Суперпарамагнитные свойства манганитов лантана  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075, 0.095, 0.115$ ) / Р.М. Еремина, **К.Р. Шарипов**, Л.В. Мингалиева и др. // Письма в ЖЭТФ. – 2013. – Т. 98, №12. – С. 952-956.
- [A4] Исследование фазового расслоения в керамике  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2; 0.3$ ) / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина, И.И. Фазлижанов и др. // Конференция молодых ученых КФТИ КазНЦ РАН: Материалы докл. науч.-практ. конф., Казань, Россия, 23 марта 2009. – Казань: Изд-во КФТИ КазНЦ РАН, 2009. – С. 83-90.
- [A5] **Шарипов К.Р.** Исследование фазового расслоения в керамике  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2$ ) методом ЭПР / К.Р. Шарипов, Р.М. Еремина, И.И. Фазлижанов // Пятнадцатая Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых учёных: Материалы конф. и тез. докл. ВКНСФ-15, Кемерово-Томск, Россия, 26 март.-2 апр. 2009. – Изд-во АСФ и МУ РФ, 2009. – Т. 1. – С. 338-339.
- [A6] Исследование фазового расслоения в керамике  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.1; 0.13; 0.15; 0.17; 0.2; 0.3$ ) / Р.М. Еремина, И.В. Яцык, **К.Р. Шарипов** и др. // Новое в магнетизме и магнитных материалах: Сб. трудов XXI Межд. конф., Москва, Россия, 28 июн.- 4 июл. 2009. – М: Изд-во физ. фак. МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009. – С. 508-509.

[A7] Observation of a phase separation in Paramagnetic  $\text{Eu}_{0.6}\text{La}_{0.4-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  / **K.R. Sharipov**, R.M. Eremina, I.I. Fazlizhanov, et.al. // Actual problems of magnetic resonance and its application: Proceedings of the XII Intern. Youth Scientific School, Kazan, Russia, 5-9 oct. 2009. – Kazan: Kazan University Press, 2009. – P.220-223.

[A8] Исследование свойств керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075$ ;  $0.095$ ;  $0.115$ ) методом ЭПР / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина, А.Г. Баделин и др. // Порядок, беспорядок и свойства оксидов ОДРО-13: Труды симп., Ростов-на-Дону, пос. Лоо, Россия, 16-21 сен. 2010. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2010. – Т.2. – С.213-216.

[A9] Исследование свойств керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина, Л.В. Мингалиева и др. // Порядок, беспорядок и свойства оксидов ОДРО-14: Труды симп., Ростов-на-Дону, пос. Лоо, Россия, 14-19 сен. 2011. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2011. – Т.2. – С.199-201.

[A10] Investigations of properties  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075$ ;  $0.095$ ;  $0.115$ ) ceramics / **K.R. Sharipov**, R.M. Eremina, L.V. Mingalieva, et al. // Spin physics, spin chemistry, and spin technology: Abstracts of the international conference, Kazan, Russia, 1-5 Nov. 2011. – Published by Zavoisky Physical-Technical Institute, 2011. – P.218-219.

[A11] Исследование свойств керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075$ ;  $0.095$ ;  $0.115$ ) / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина, Л.В. Мингалиева и др. // Проблемы физики конденсированного состояния вещества: Тез. докл. XII Всеросс. молод. школы-семинара, Екатеринбург, Россия, 14-20 нояб. 2011. – Екатеринбург, 2011. – С.46.

[A12] Исследование свойств керамики  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина, Л.В. Мингалиева и др. // Магнитный резонанс и его приложения: Тез. докл. молод. науч. школы-конф., Санкт-Петербург, Россия, 28 нояб.-3 дек. 2011. – СПб.: Из-во СПбГУ, 2011. – С.121-122.

[A13] Исследование магнитных свойств  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина, Л.В. Мингалиева // Ежегодник «Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского 2011»: Сб. статей / ред. К.М. Салихов. – Казань: Физтехпресс, 2011. – С.111-114.

[A14] Study on magnetic properties of  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$  ( $x = 0.075$ ;  $0.095$ ;  $0.115$ ) ceramics / **K.R. Sharipov**, R.M. Eremina, L.V. Mingalieva, et. al. // Magnetic Resonance and Magnetic Phenomena in Chemical and Biological Physics: Book of abstracts, The School for Young Scientists, Novosibirsk, Russia, 16-21 July 2011. – Novosibirsk: Novosib. State Univ, 2012. – P.77.

[A15] Исследование магнитных свойств ферромагнитно коррелированных областей в парамагнитной фазе  $\text{La}_{1-x}\text{A}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  ( $A = \text{Sr}, \text{Ba}$ ) / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина, Л.В. Мингалиева и др. // Порядок, беспорядок и свойства оксидов ОДРО-15: Труды симп., Ростов-на-Дону, пос. Лоо, Россия, 7-12 сен. 2012. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2012. – С.360-363.

[A16] Исследование магнитных свойств ферромагнитно коррелированных

областей в парамагнитной фазе  $\text{La}_{1-x}\text{A}_x\text{Mn}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_3$  ( $\text{A} = \text{Sr}, \text{Ba}$ ) / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина, Л.В. Мингалиева и др. // Новое в магнетизме и магнитных материалах: Тез. докл., междунар. науч. симп. НМММ-XXII, Астрахань, Россия, 17-21 сен. 2012. – Изд-во: Астрахан. гос. ун-т, 2012. – С.302-305.

[A17] **Шарипов, К.Р.** Исследование свойств керамик  $\text{R}_{1-x}\text{Me}_x\text{Mn}_{1-y}\text{M}_y\text{O}_3$ ,  $\text{R}=\text{La}$ ;  $\text{Me}=\text{Sr}, \text{Ba}, \text{Ca}$ ;  $\text{M}=\text{Zn}, \text{Fe}$  / К.Р. Шарипов // Молодежь и инновации Татарстана: Сб. материалов науч-практ. конф., Казань, Россия, 10-12 окт. 2012. – Казань, 2012. – С.66-71.

[A18] Superparamagnetic properties in hole doped manganites / **К.Р. Шарипов**, R.M. Eremina, L.V. Mingalieva // Actual problems of magnetic resonance and its application: Proceedings of the XV Intern. Youth Scientific School, Kazan, Russia, 22-26 Oct. 2012. – Kazan: Kazan University Press, 2012. – P.56-59.

[A19] **Шарипов, К.Р.** Исследование физических свойств многофазных магнитных систем ABCDO:  $\text{A}=\text{La}; \text{Ca}$ ;  $\text{B}=\text{Mn}, \text{Ni}, \text{Ti}$ ;  $\text{C}=\text{Sr}, \text{Cu}, \text{Cr}$ ;  $\text{D}=\text{Fe}$  // Молодежь и инновации Татарстана: Сб. материалов науч-практ. конф., Казань, Россия, 4-6 апреля 2013. – Казань, 2013. – С.53-62.

[A20] Superparamagnetic behavior in  $\text{LaSrMnZnO}$  systems / R.M. Eremina, **К.Р. Шарипов**, L.V. Mingalieva // Modern development of magnetic resonance: Book of abstracts of the inter. conf., Kazan, Russia, 24-28 Sept. 2013. – Published by Zavoisky Physical-Technical Institute. – Kazan, Russia, 2013. – pp.110-111.

[A21] **Шарипов, К.Р.** Исследование физических свойств многофазных магнитных систем / К.Р. Шарипов // Молодежь и инновации Татарстана: Сб. материалов науч-практ. конф., Казань, Россия, 15-16 апр. 2014. – Казань, 2014. – С.59-62.

[A22] Исследование магнитных свойств ферромагнитно коррелированных областей в легированных манганитах лантана / **К.Р. Шарипов**, Р.М. Еремина. // Итоговая конференция молодых ученых КФТИ КазНЦ РАН: Материалы докл., науч-практ. конф., Казань, Россия, 24 апр. 2014. – Казань, 2014. – С.18-24.