

На правах рукописи

Камилов Камил Ибрагимханович

Исследование магнитных и магнитоупругих свойств при спонтанных и индуцированных магнитным полем фазовых переходах в монокристаллах редкоземельных манганитов.

01.04.11 – физика магнитных явлений

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва 2004

Диссертационная работа выполнена в проблемной лаборатории магнетизма физического факультета Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Научные руководители: кандидат физико-математических наук  
Кадошцева А.М.  
кандидат физико-математических наук  
Попов Ю.Ф.

Официальные оппоненты доктор физико-математических наук  
  
доктор физико-математических наук

Ведущая организация

Защита состоится \_\_ \_\_\_\_ 2004 г. в \_\_ часов на заседании диссертационного совета

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова

Автореферат разослан “\_\_” \_\_\_\_ 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

### Актуальность темы.

В последние несколько лет к исследованию замещенных оксидов марганца системы  $R_{1-x}A_xMnO_3$  (где R- редкоземельный ион,  $A^{2+}$ - ионы  $Sr^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  проявляется огромный интерес, который в первую очередь обусловлен обнаружением в них эффекта колоссального магнитосопротивления [1]. Эффект колоссального магнитосопротивления интересен сам по себе и может быть использован в технике магнитной записи, а также при изготовлении сенсоров. Проводимые исследования выявили ряд новых и интересных явлений в этих материалах, связанных с локализацией носителей тока и зарядовым упорядочением ионов  $Mn^{3+}/Mn^{4+}$ , орбитальным упорядочением ионов  $Mn^{3+}$ , а также индуцированными магнитным полем магнитными и структурными фазовыми переходами и фазовыми переходами типа полупроводник – металл [1].

Механизм этих явлений связан с одной стороны с появлением сильного ферромагнитного обменного взаимодействия, которое возникает при легировании кристалла двухвалентными ионами  $Sr^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  (двойной обмен Зиннера [2]). С другой стороны, как показали недавние теоретические исследования [3], важную роль здесь играют искажения кристаллической решетки, обусловленные эффектом Яна - Теллера на ионах  $Mn^{3+}$  и образованием магнитных поляронных состояний, а также структурные неоднородности, связанные с замещением редкоземельного иона на двухвалентный  $Sr^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  ион, что проявляется в заметной асимметрии фазовых T-x диаграмм. Изучение манганитов с нашей точки зрения является интересным в связи с тем, что, изменяя концентрации и тип замещающих ионов, можно менять соотношение двойного обмена и сверхобмена, так как создает основы к управляемому изменению свойств при изменениях концентраций. Исследования такого влияния замещения является одной из важнейших задач в области редкоземельных манганитов. Такого рода исследования представляют интерес, так как это позволит создать более четкую картину физики манганитов.

Одной из особенностей свойств редкоземельных манганитов является чувствительность к искажениям решетки, которые описываются фактором

толерантности. Небольшие изменения радиусов замещающих ионов могут приводить к кардинальным изменениям свойств, в том числе и к спонтанным переходам изолятор- металл, а также возникновению зарядового упорядочения. Тем не менее, влияние фактора толерантности на магнитные свойства редкоземельных манганитов является недостаточно изученным, что иногда приводит к различным ошибкам при описании свойств редкоземельных манганитов, например при построении фазовых T-x диаграмм. Наибольшее количество работ, посвященных исследованию магнитных и резистивных свойств замещенных редкоземельных манганитов, проводилось на поликристаллических образцах, которые обладают рядом недостатков (в частности могут обладать плохой стехиометрией по кислороду), что не может не вносить искажения в фазовую T-x диаграмму. Исследования свойств монокристаллов позволило бы значительно уточнить фазовые диаграммы, однако исследования на монокристаллах практически не проводились, в связи с трудностью их выращивания.

С нашей точки зрения наиболее интересными среди замещенных редкоземельных манганитов являются составы  $R_{1-x}A_xMnO_3$  с концентрациями  $x=1/2$ , где наблюдаются различные типы спинового, орбитального и зарядового упорядочений. Однако, полного исследования замещенных манганитов в зависимости от редкоземельного и замещающего ионов не проводилось.

Несмотря на значительное количество работ в области исследования манганитов большинство из них проведены в слабых магнитных полях, тогда как, наиболее интересные свойства проявляются в сильных магнитных полях, где могут индуцироваться новые фазовые переходы. Магнитоупругие свойства манганитов, чувствительные к индуцированным магнитным полям фазовым переходам, изучены недостаточно. Исследование аномалий магнитных, магнитоупругих свойств редкоземельных манганитов с колоссальным магнитосопротивлением является необходимым условием для установлений спин-зарядово-решеточной связи.

### **Цель работы.**

Целью диссертационной работы являлось исследование магнитных и магнитоупругих свойств монокристаллов редкоземельных манганитов в сильных импульсных магнитных полях до 250 кЭ, индуцирующих разнообразные типы магнитных и структурных фазовых переходов, в том числе переход металл-изолятор, и установление корреляций между магнитными и магнитоупругими свойствами манганитов, обладающих эффектом колоссального магнитосопротивления. Преследовалась также цель выяснения роли двойного и суперобмена в формировании магнитных и кинетических свойств манганитов при фазовых переходах и их фазовых T-x и T-H диаграмм.

### **Научная новизна.**

Впервые проведены комплексные исследования магнитных и магнитоупругих свойств монокристаллов различных систем замещенных редкоземельных манганитов в сильных импульсных магнитных полях.

Впервые наблюдались новые индуцированные сильным магнитным полем фазовые переходы, связанные со спиновой переориентацией в чистых  $\text{RMnO}_3$  и слаболегированных манганитах  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  ( $x < 0.05$ ).

Впервые наблюдались аномалии магнитострикции для монокристалла  $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$ , связанные с эффектом положительного магнитосопротивления.

Впервые наблюдался индуцированный магнитным полем уникальный переход для монокристаллов  $\text{La}_{0.35}\text{Sr}_{0.65}\text{MnO}_3$  и  $\text{La}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{MnO}_3$ , связанный со смещением границ различных антиферромагнитных фаз

Установлена природа необычных фазовых переходов в монокристалле  $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  вблизи  $x=0.5$ .

Подробные исследования в сильных магнитных полях позволили значительно уточнить фазовые T-x диаграммы и построить фазовые H-T диаграммы для различных замещенных манганитов.

### **Основные результаты, выносимые на защиту.**

- Результаты комплексного исследования в сильных магнитных полях монокристаллов  $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$   $\text{La}_{0.875}\text{Ca}_{0.125}\text{MnO}_3$ , для которых впервые обнаружен из измерений магнитных и магнитоупругих свойств необычный

индуцированный магнитным полем переход с новым типом орбитального упорядочения.

- Результаты исследований электронно допированных монокристаллов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x > 0.5$ ), позволившие показать появление уникального индуцированного магнитным полем фазового перехода, связанного со смещением границ между различными антиферромагнитными фазами для составов  $x=0.65$  и  $x=0.8$ .
- Результаты исследования влияния фактора толерантности на свойства замещенных редкоземельных манганитов, согласно которым показана невозможность существования спонтанного ферромагнетизма в монокристаллах  $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x=0.5-0.575$ ) при низких температурах, а также доказательство подавления такого антиферромагнитного состояния в этих монокристаллах только в сильных магнитных полях  $\sim 250$  кЭ.
- Результаты анализа природы необычного поведения магнитных и магнитоупругих свойств монокристалла  $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  вблизи  $x=0.5$ , в которых сосуществуют три фазы, обладающие различной структурой и объемом, соотношение между которыми меняется под влиянием магнитного поля и температуры.
- Результаты исследования магнитной структуры и переориентационных переходов слабо легированных редкоземельных манганитов, доказывающие на присутствие поперечного слабого ферромагнетизма  $\text{RMnO}_3$  (R- La, Nd, Ca) и слаболегированных составов  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  ( $x < 0.05$ ).
- Фазовые H-T и T-x диаграммы, полученные по результатам комплексных исследований различных составов.

### **Апробация работы.**

Основные результаты диссертации докладывались на ряде международных и всероссийских конференций, в том числе: Международная школа-семинар “Новые магнитные материалы микроэлектроники”, Москва 2000, 2002 г., Second Moscow International Symposium on Magnetism, Moscow, 20-24 June 2002, International Conference Functional Materials, Ukraine, Crimea, Partenit, 2001, 2003,

International Conference on Low Temperature Physics-23, Hiroshima, Japan, 2002, международный семинар “Физика магнитных фазовых переходов”, Махачкала, сентябрь, 1998, 2000, 2002 г.г.

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 25 работ, из которых восемь – статьи в реферируемых журналах, список которых приводится в конце автореферата.

### **Структура работы.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы; содержит 154 страницы машинописного текста, в том числе 100 рисунков. Список литературы содержит 100 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во **введении** формулируются основные задачи диссертационной работы, их актуальность.

**Первая глава** диссертации носит обзорный характер и включает в себя обзор современного состояния науки в области исследования редкоземельных манганитов: исследования структуры, магнитных, магнитоупругих и кинетических свойств редкоземельных манганитов, непосредственно относящихся к теме диссертации.

Первый параграф посвящен кристаллической, магнитной симметрии и свойствам нелегированных составов  $R\text{MnO}_3$ , которые являются слоистыми антиферромагнетиками А-типа и составов  $A\text{MnO}_3$ , которые являются антиферромагнетиками G-типа. Различие поведения этих соединений связано с наличием или отсутствием сильного кооперативного эффекта Яна-Теллера, который приводит к снятию вырождения  $e_g$  уровня за счет искажения кристаллической структуры.

Во втором параграфе дается обзор кристаллической и магнитной структуры замещенных редкоземельных манганитов системы  $R_{1-x}A_x\text{MnO}_3$ . Рассмотрено влияние конкуренции механизмов двойного обмена и суперобмена на магнитные и кинетические свойства редкоземельных манганитов. Приведены различные концентрационные фазовые T-x диаграммы. Отмечено влияние фактора толерантности на свойства системы.

В третьем параграфе дается возможное описание механизмов, приводящих к различным структурным и магнитным фазовым переходам. Также рассмотрены механизмы, приводящие к эффекту колоссального магнитосопротивления манганитов. Рассмотрено влияние зарядового упорядочения на возникновение эффекта колоссального магнитосопротивления. Особенно подробно рассмотрены составы с концентрациями  $x=1/2$ .

Во **второй главе** приводится описание исследуемых монокристаллов и экспериментальных методов исследования. Описана оригинальная методика измерений магнитных и магнитоупругих свойств в сильных импульсных магнитных полях до 250 кЭ в интервале температур 10-300 К. Подробно описана



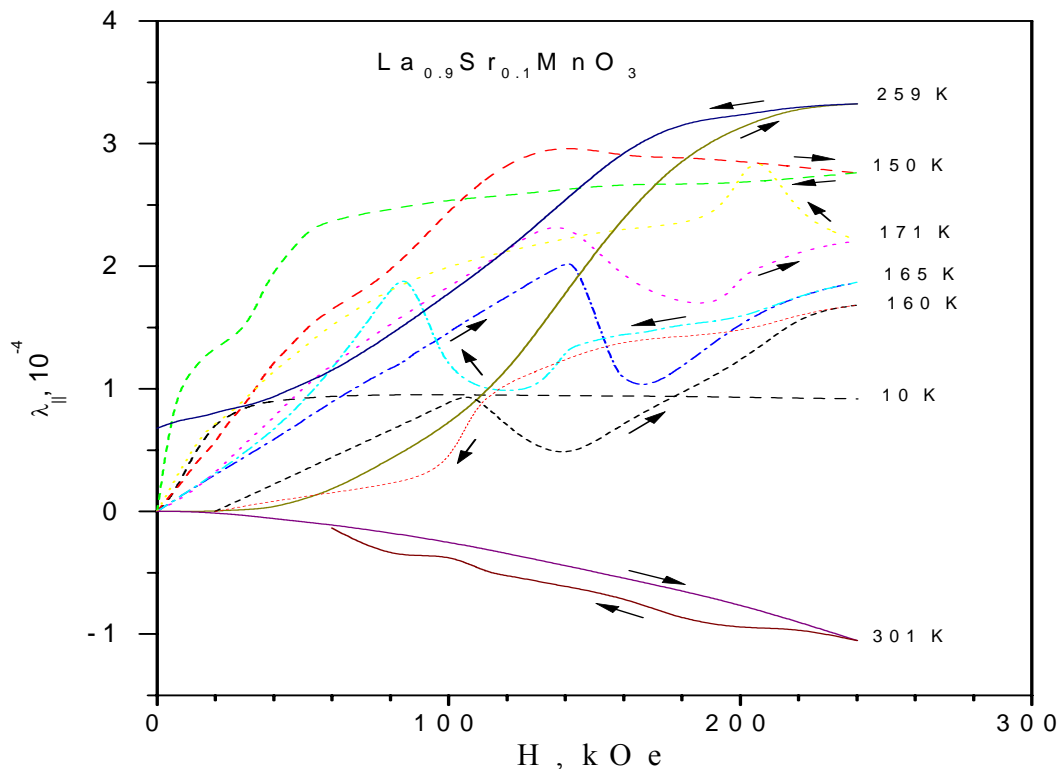


Рис. 1 Магнитострикция от магнитного поля

методика измерений теплового расширения, магнитострикции и кривых вращающих моментов в постоянных полях до 12 кЭ. Описана методика измерения теплоемкости в интервале температур 4-400 К.

В **третьей главе** приведены полученные нами данные исследования магнитных и магнитоупругих свойств монокристаллов системы  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ .

В первом параграфе приведены данные исследования дырочно допированных монокристаллов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x < 0.25$ ). При измерении теплового расширения, теплоемкости и магнитострикции в слабых до 12 кЭ магнитных полях наблюдались аномалии при различных спонтанных и индуцированных магнитных и структурных фазовых переходах. Температуры аномалий совпадают с полученными ранее из измерений магнитных и кинетических свойств, что говорит о сильной спин-зарядово-решеточной связи в этих соединениях. Впервые наблюдались аномалии магнитострикции (рис. 1), связанные с подавлением магнитным полем ян-теллеровской фазы и индуцированием нового типа

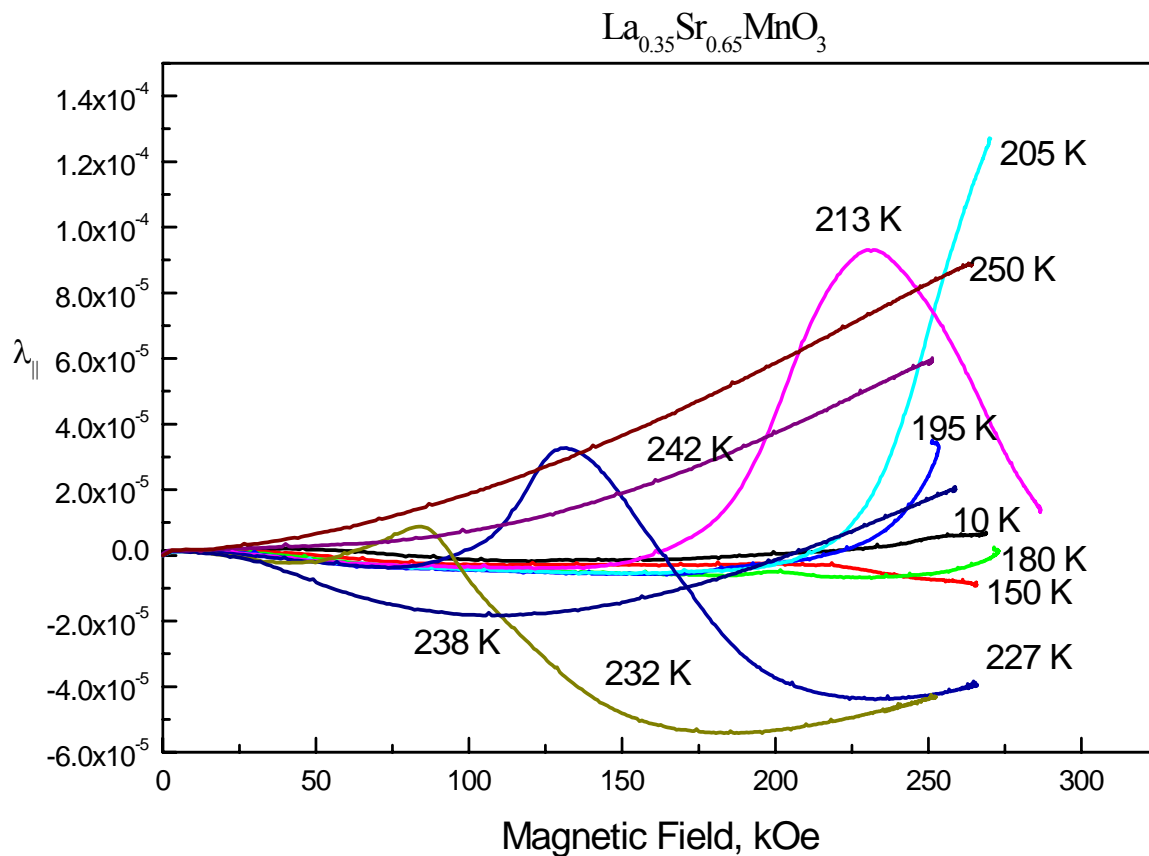


Рис. 2 Кривые магнитострикции

орбитального упорядочения, в сильных магнитных полях до 250 кЭ для монокристаллов составов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  с концентрацией  $x=0.1$ , для которых, согласно работе [4], наблюдается положительное магнитосопротивление. Получены фазовые H-T диаграммы для этих необычных переходов.

Во втором параграфе рассматриваются свойства электронно допированных монокристаллов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x>0.5$ ). Установлены границы различных антиферромагнитных фаз (A, C и G- типа) на фазовой T-x диаграмме электронно допированных манганитов. Из полученных данных исследований магнитных и магнитоупругих свойств манганитов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  при  $x>0.5$  впервые для составов с концентрациями  $x=0.65$  и  $x=0.8$  обнаружены уникальные индуцированные магнитным полем переходы, связанные со смещением границ различных антиферромагнитных фаз. Согласно кривым магнитострикции для состава  $x=0.65$

(рис. 2) наблюдаются два процесса, один из которых связан с подавлением антиферромагнитной фазы, а второй - со смещением границ антиферромагнитных фаз, из антиферромагнитного состояния А-типа в антиферромагнитное состояние С-типа. Построены фазовые Н-Т диаграммы.

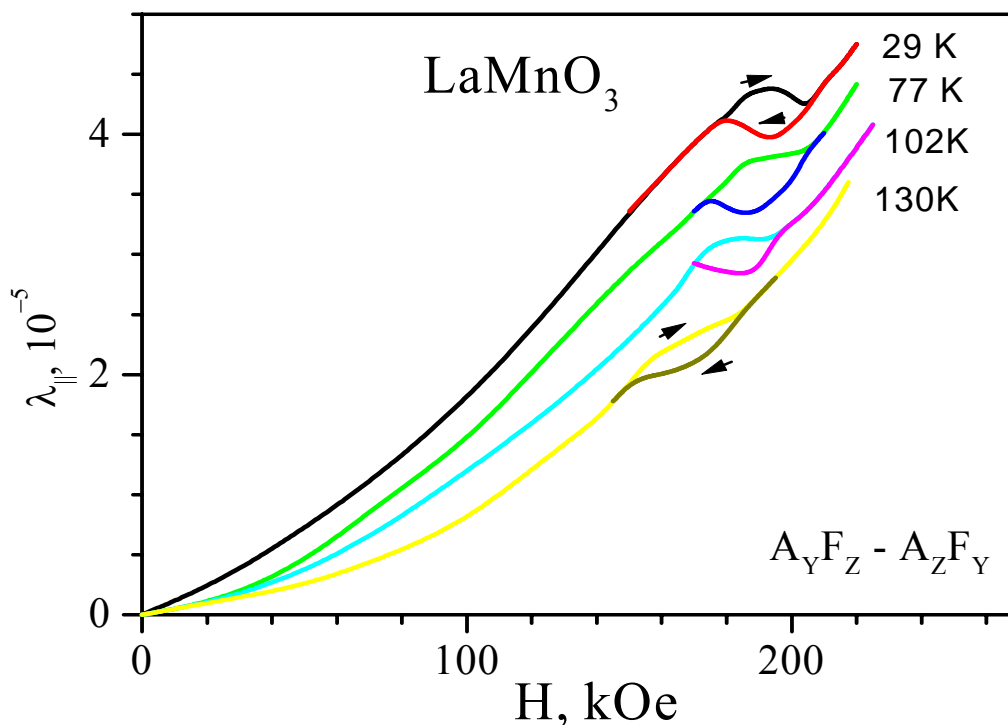


Рис. 3 Кривые магнитострикции, указывающие на спиновую переориентацию

Впервые при измерениях магнитострикции наблюдался индуцированный сильным магнитным полем 220 кЭ и 80 кЭ эффект спиновой переориентации для монокристаллов  $\text{LaMnO}_3$  (рис. 3) и  $\text{CaMnO}_3$  соответственно, обладающих поперечным слабым ферромагнетизмом, что говорит об жесткой ориентации магнитного момента в этих монокристаллах. Отмечено совпадение величин магнитного поля спиновой переориентации, полученных из измерений антиферромагнитного резонанса в [4] и наших результатов.

В **четвертой главе** приводятся результаты наших исследований магнитных и магнитоупругих свойств в сильных магнитных полях монокристаллов манганитов системы  $\text{Nd}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$  (A-  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ).

В первом параграфе приводятся измерения намагниченности и магнитострикции составов  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ . Впервые из измерений кривых вращающих моментов был сделан вывод о наличии слабого ферромагнетизма, обусловленного скосом подрешеток, а не смесью фаз в  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  ( $x < 0.05$ ), что

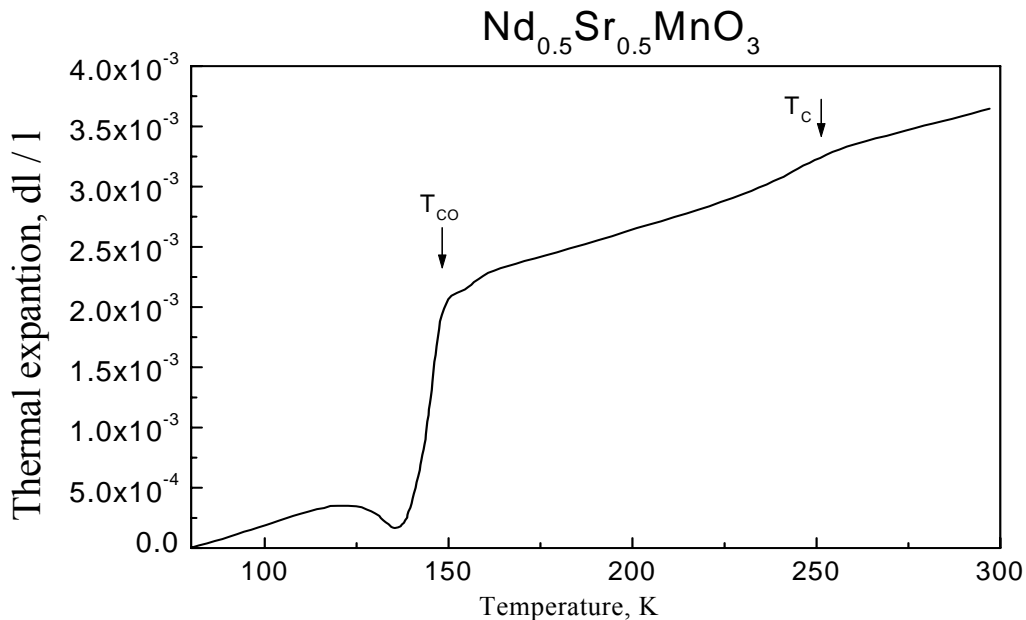


Рис. 4 Тепловое расширение

подтверждается обнаружением индуцированной сильным магнитным полем спиновой переориентации, которая может наблюдаться в системе с жесткой ориентацией магнитного момента.

Отмечено, что при росте концентрации ионов Ca происходит переход в ферромагнитное состояние, что нами наблюдалось для состава с  $x=0.3$

Для составов  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$   $x=0.4, 0.45, 0.5$ , которые обнаруживают антиферромагнитное и зарядовое упорядочения наблюдались аномалии теплового расширения при зарядовом упорядочении. Впервые наблюдалось возникновение аномалий магнитострикции для концентраций  $x=0.4, 0.45, 0.5$ , которые связаны с подавлением магнитным полем зарядового и антиферромагнитного упорядочения в этих составах. Построены фазовые H-T диаграммы, из которых впервые установлена корреляция между магнитными и магнитоупругими свойствами при переходе изолятор- металл в этих составах.

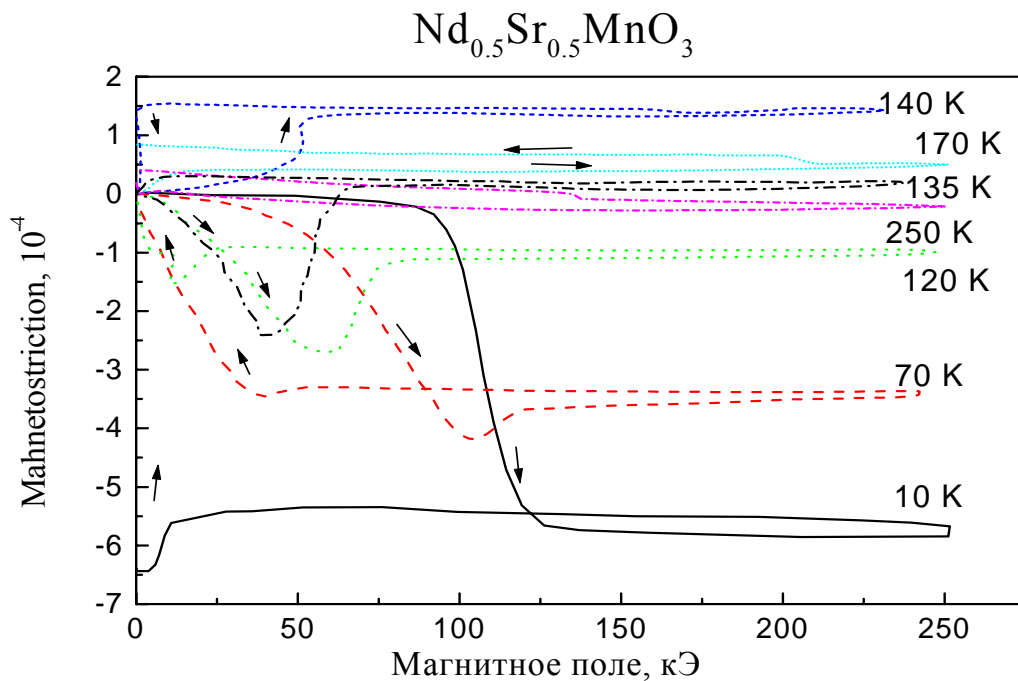


Рис. 5 Кривые магнитострикции

Во втором параграфе приведены исследования магнитных и магнитоупругих свойств монокристаллов  $\text{Nd}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ ,  $\text{Nd}_{0.48}\text{Sr}_{0.52}\text{MnO}_3$ . Отмечено, что замена замещающего иона с Ca на Sr, обладающих различными ионными радиусами, приводит к изменению фактора толерантности и как следствие к меньшей стабильности зарядового и антиферромагнитного упорядочений, что наблюдается согласно фазовой T-x диаграмме [5]. Для состава  $\text{Nd}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ , который находится на границе сосуществования трех фаз (зарядово упорядоченная SE моноклинная фаза, антиферромагнитная орторомбическая фаза A типа и ферромагнитная орторомбическая фаза), отличающихся объемом и структурой обнаружено сложный характер аномалий магнитных и магнитоупругих свойств. Согласно нашим исследованиям доказано, что магнитное поле и температура по разному влияют на соотношение этих фаз, что особенно ярко проявляется при измерениях теплового расширения (рис. 4) и магнитострикции (рис. 5). Первая тенденция связана с предпочтением в магнитном поле появления ферромагнитного состояния при подавлении зарядово упорядоченного состояния.

Вторая тенденция возможно связана с тем, что при учете в свободной энергии упругого и магнитоупругого вклада орторомбическая фаза А- типа является более предпочтительной, чем моноклинная антиферромагнитная фаза СЕ- типа. Смена знака магнитострикции, наблюдаемая в нашем эксперименте с полем и с температурой может быть связана с тем, что первая тенденция вызывает положительную магнитострикцию, а вторая - отрицательную. Сложный характер наблюдаемых аномалий магнитострикции связан с тем, что магнитное поле индуцирует наряду с фазовым переходом металл- полупроводник также структурный фазовый переход.

Построены фазовые Н-Т диаграммы, обнаруживающие широкий гистерезис перехода по полю, что характерно для фазового перехода первого рода. Показано, что изменение концентрации ионов  $\text{Sr}^{2+}$  ( $\text{Nd}_{0.48}\text{Sr}_{0.52}\text{MnO}_3$ ) приводит к практически исчезновению зарядового упорядочения, что свидетельствует об особенном состоянии состава с концентрацией с  $x=1/2$ . Видно, что даже такое малое изменение концентрации ведет к значительному изменению свойств исследуемой системы.

В **пятой** главе проводятся результаты исследований монокристаллов составов  $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ,  $\text{Pr}_{1-x}(\text{Ca},\text{Sr})_x\text{MnO}_3$ . Для этих составов наблюдались фазовые переходы сопровождающиеся

сильными магнитными и магнитострикционными аномалиями.

В первом параграфе приведены данные по исследованию магнитных и магнитоупругих свойств  $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ . Ранее в работе [6] было указано на

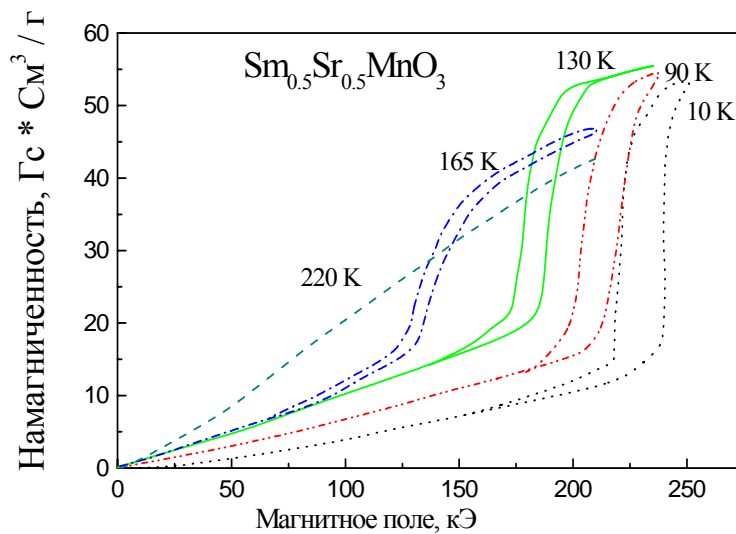


Рис. 6 Кривые намагничивания

существование спонтанного ферромагнетизма в монокристаллах ( $x=0.5-0.575$ ) при низких температурах. Однако такое утверждение противоречило общей тенденции к усилению эффектов локализации при увеличении номера атома редкоземельного иона. Нами было установлено, что эти составы находятся в чистом антиферромагнитном состоянии и ферромагнитное состояние может быть индуцировано только сильным магнитным полем 200 кЭ. Из аномалий намагниченности и магнитострикции, соответствующих переходам из антиферромагнитного зарядово упорядоченного изолятора в ферромагнетик определены критические поля переходов и впервые для этих составов построены фазовые H-T диаграммы. Обнаружено по данным измерений намагниченности монокристаллов  $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  присутствие слабого ферромагнетизма в составах  $0.6 < x < 0.7$ . Построена новая фазовая T-x диаграмма для монокристаллов

Во втором параграфе отмечено сильное влияние ионного радиуса допируемого иона на магнитные свойства этих составов. В случае  $\text{Pr}_{1-x}(\text{Ca}:\text{Sr})_x\text{MnO}_3$  установлено, что 7% замена иона  $\text{Ca}^{2+}$  на  $\text{Sr}^{2+}$  приводит к увеличению тенденции возникновения слабого ферромагнетизма при низких температурах, благодаря которому величина магнитного поля, необходимого для индуцируемого магнитным полем фазового перехода антиферромагнитный изолятор – ферромагнитный металл заметно уменьшается. Можно предположить, что при дальнейшей замене иона  $\text{Ca}^{2+}$  на ион  $\text{Sr}^{2+}$  произойдет спонтанный переход изолятор- металл.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

1. Доказано, что температуры аномалий теплового расширения, теплоемкости, магнитострикции в слабых магнитных полях монокристаллов  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  совпадают с полученными ранее из измерений магнитных и кинетических данных и нейтронографии, что указывает на спин-зарядово-решеточную связь.
2. Впервые для монокристалла  $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{MnO}_3$  обнаружены скачки магнитострикции, связанные с новым типом орбитального упорядочения при подавлении ян-теллеровской фазы в сильных

магнитных полях, в которых наблюдалось положительное магнитосопротивление.

3. В электронно допированных монокристаллах  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  наблюдались особенности магнитных свойств и теплового расширения, связанные с различными типами антиферромагнитных упорядочений (А, С, G - типа). Впервые для монокристаллов  $x=0.65$  и  $x=0.8$  были индуцированы сильным магнитным полем два типа фазовых переходов, один из которых связан с подавлением антиферромагнитного упорядочения, а второй уникальный переход связанный со смещением границ между фазами.
4. Впервые из измерений кривых вращающих моментов было установлено для монокристаллов  $\text{LaMnO}_3$ ,  $\text{CaMnO}_3$ ,  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  ( $x=0, 0.025, 0.05$ ) наличие поперечного слабого ферромагнетизма. Впервые из измерений магнитных и магнитоупругих свойств обнаружена индуцированная сильным магнитным полем спиновая переориентация  $A_yF_z-A_zF_y$ , сопровождаемая аномалиями магнитострикции.
5. Обнаружены аномалии магнитострикции при индуцированных сильным магнитным полем фазовых переходах для монокристаллов  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  ( $x=0.4, 0.45, 0.5$ ), связанные с подавлением зарядового и антиферромагнитного упорядочений. Обнаружена спин-решеточная связь.
6. В монокристаллах  $\text{Nd}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ , в которых сосуществуют 3 фазы (антиферромагнитные А- и СЕ- типа и ферромагнитная), отличающиеся структурой и объемом, наблюдалось необычное поведение теплового расширения и магнитострикции, обусловленное изменением соотношения фаз при изменении температуры и поля.
7. Установлено, что в монокристаллах  $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x = 0.5, 0.55$ ) не наблюдается ферромагнитного состояния как утверждалось в [6], а обнаруживается зарядово упорядоченное антиферромагнитное



состояние, что позволило уточнить приведенную в [6] фазовую T-x – диаграмму, для составов  $x = 0.5, 0.55$ .

8. Впервые обнаружено, что сильное магнитное поле ( $\sim 200$  кЭ) подавляет антиферромагнитную и зарядовоупорядоченную фазы в монокристаллах  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$   $\text{Sm}_{0.45}\text{Sr}_{0.55}\text{MnO}_3$  и индуцирует фазовый переход в ферромагнитное проводящее состояние, при котором наблюдались аномалии намагниченности и магнитострикции.
9. Обнаружены аномалии намагниченности и магнитострикции для монокристаллов  $\text{Pr}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{MnO}_3$  и  $\text{Pr}_{0.65}\text{Ca}_{0.28}\text{Sr}_{0.07}\text{MnO}_3$  при фазовых переходах с колоссальным магнитосопротивлением. Построены согласующиеся между собой фазовые H-T диаграммы, указывающие на сильную спин-зарядово-решеточную связь.
10. На основе комплексных исследований  $\text{R}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$ , установлено, что увеличение атомного номера R или замена щелочного иона A ( $\text{Sr} \Rightarrow \text{Ca}$ ) (то есть уменьшения фактора толерантности) приводит к усилению эффектов локализации, и как следствие стабилизирует зарядовое и антиферромагнитное состояние.

**Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. А.М. Кадомцева, Ю.Ф. Попов, Г.П. Воробьев, К.И. Камилов, А.А. Мухин, А.М. Балбашов, Аномалии теплового расширения и магнитострикции при фазовых переходах в монокристаллах  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ , ФТТ, 42, 6, 2000, 1077
2. A.M. Kadomtseva, Yu.F. Popov, G.P. Vorob'ev, K.I. Kamilov, V.Yu. Ivanov, A.A. Mukhin, A.M. Balbashov, Magnetelastic anomalies and suppression of Jahn- Teller distortions in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  by pulsed magnetic fields, Physica B, 284-288, 2000, 1410
3. A.M. Kadomtseva, Yu.F. Popov, G.P. Vorob'ev, K.I. Kamilov, V.Yu. Ivanov, A.A. Mukhin, A.M. Balbashov, Magnetoelastic anomalies and suppression of Jahn- Teller distortions in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  by pulsed magnetic fields, Acta Physica Polonica A 97, 3, 2000, 599

4. A.M. Kadomtseva, Yu. F. Popov, G.P. Vorob'ev, K.I. Kamilov, Y. S. Shtofich, A.A. Mukhin, V.Yu. Ivanov, A.M. Balbashov, Anomalies of magnetic and magnetoelastic properties in  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ , *Physica B*, 329-333, 854, (2003)
5. Ю.Ф. Попов, А.М. Кадомцева, Г.П. Воробьев, К.И. Камилов, Я.С. Штофич, В.Ю. Иванов, А.А. Мухин, А.М. Балбашов, Природа магнитоупругих аномалий в  $\text{Nd}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$  при подавлении зарядового упорядочения, *Физика твердого тела*, 45, 7, 1221, (2003)
6. Ю.Ф. Попов, А.М. Кадомцева, Г.П. Воробьев, К.И. Камилов, В.Ю. Иванов, А.А. Мухин, А.М. Балбашов, Аномалии магнитоупругих свойств и индуцированные магнитным полем фазовые переходы изолятор-металл в замещенных манганитах празеодима, *Физика твердого тела*, 43, 8, 1472, (2001)
7. В.Ю. Иванов, А.А. Мухин, А.С. Прохоров, Ю.Ф. Попов, А.М. Кадомцева, Г.П. Воробьев, К.И. Камилов, Е.П. Красноперов, А.М. Балбашов, Спонтанные и индуцированные магнитным полем фазовые переходы в монокристалле  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ , *Краткие сообщения по физике ФИАН*, 7, 21, 2002
8. Ю.Ф. Попов, А.М. Кадомцева, Г.П. Воробьев, К.И. Камилов, В.Ю. Иванов, А.А. Мухин, А.М. Балбашов, Аномалии магнитных и магнитоупругих свойств монокристаллов  $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x \sim 0.5$ ) при фазовых переходах, *ФТТ* 46, 7, 1214, 2004

#### Список литературы.

1. Y. Tokura, Y. Tomioka, Colossal magnetoresistive manganites, *JMMM*, 200, 1-23, (2000)
2. C. Zener, Interaction between the *d*-Shells in the Transition Metals. II. Ferromagnetic Compounds of Manganese with Perovskite Structure, *Phys. Rev.*, 82, 403, 1951
3. A.J. Millis, B.I. Shraiman, R. Mueller, Dynamic Jahn-Teller effect and colossal magnetoresistance in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ , *Phys. Rev. Lett.*, 77, 1, 175, (1996)
4. M. Paraskevopolous, F. Mayr, C. Hartinger, A. Pimenov, J. Hemberger, P. Lunkenheimer, A. Loidl, A.A. Mukhin, V.Yu. Ivanov, A.M. Balbashov, The phase diagram and optical properties of  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  for  $x < 0.2$ , *JMMM*, 211, 2000. 118

5. R. Kajimoto, H. Yoshizawa, H. Kawano, H. Kuwahara, Y. Tokura, K. Ohoyama, M. Ohashi, Hole-concentration-induced transformation of the magnetic and orbital structures in  $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ , *Phys. Rev. B*, 60, 13, 9506, 1999
6. C. Martin, A. Maignan, M. Hervieu, B. Raveau, Magnetic phase diagrams of  $\text{L}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$  manganites (L=Pr,Sm; A=Ca,Sr), *Phys. Rev. B*, 60, 17, 12191, (1999)