

Российская академия наук  
Уральское отделение  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ

УДК 538.91.911; 538.91.913; 538.91.915  
538.94.945; 538.955; 538.97; 539.125.5

Г.р. № 01.2.007 08390

Инв. № 2298/4



УТВЕРЖДАЮ:

Директор Института,  
академик РАН

В.В.Устинов

«15» октября 2008 г.

**ОТЧЕТ**  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ  
СТРУКТУРЫ НАНОМАТЕРИАЛОВ, КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ  
МАТЕРИАЛОВ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ (В  
ТОМ ЧИСЛЕ, КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ИСХОДНОМ СОСТОЯНИИ И  
ОБЛУЧЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ),  
КОМПОЗИЦИОННЫХ И КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ВОДО-ВОДЯНОМ АТОМНОМ  
РЕАКТОРЕ ИВВ-2М (НЕЙТРОННЫЙ  
МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ИФМ УРО РАН)**

по теме:

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ ФЦП И  
ДРУГИХ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ И ДООСНАЩЕНИЕ ИМЕЮЩЕГОСЯ  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА  
(Заключительный)**

Шифр 2007-7-1.8-00-03-005

Государственный контракт от «19» апреля 2007 г. № 02.518.11.7026

Дополнительное соглашение от «20» сентября 2007 г. №1

Научный руководитель,  
чл.-корр. РАН

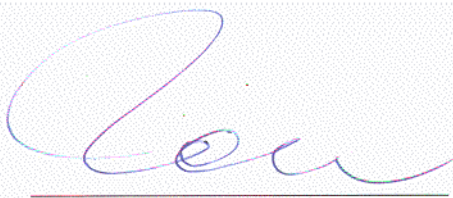
Б.Н.Гощицкий

подпись, дата

Екатеринбург 2008

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы  
член-корр. РАН



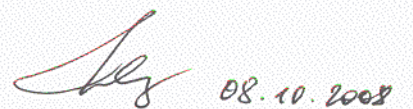
подпись, дата

Б.Н. Гощицкий  
(Введение, заключение,  
1.1, 1.5, 1.6)

08.10.2008

Исполнители темы:

зав. отделом,  
д.ф.-м.н.,  
профессор

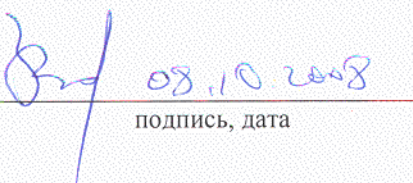


подпись, дата

Ю.Н. Скрябин  
(1,1.7, 2, 3, 4,  
Приложения)

08.10.2008

ст. научн. сотр.,  
к.ф.-м.н.



подпись, дата

В.И. Бобровский  
(1.3, 1.9)

08.10.2008

ст. научн. сотр.,  
к.ф.-м.н.

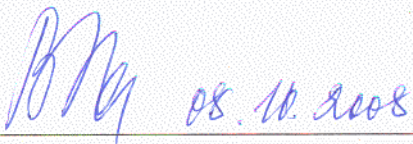


подпись, дата

В.И. Воронин  
(1.4, 1.8, 1.11)

08.10.2008

рук. группы,  
к.ф.-м.н.



подпись, дата

В.Д. Пархоменко  
(1.2, 1.10)

08.10.2008

Нормоконтролер



подпись, дата

Н.А. Гоглева

## РЕФЕРАТ

Отчет 45 с., 2 прил.

РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ, РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА, ДЕФЕКТЫ, МАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ, НАНОСТРУКТУРЫ, ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОЛИТЫ, СИСТЕМЫ С СИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ КОРРЕЛЯЦИЯМИ, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И РЕШЁТОЧНЫЕ СВОЙСТВА.

В качестве объектов исследования выбраны многокомпонентные сплавы и соединения редкоземельных и переходных металлов; наноструктуры и твердые электролиты; конструкционные материалы и системы с сильными электронными корреляциями после радиационного, термического и барического воздействий. Исследования в широком интервале температур 4.2К – 1000К, в магнитных полях до 15 Тл и при давлениях до 20 Кбар проводятся на уникальных образцах, приготовленных с использованием оригинальных технологий как в виде однофазных порошков, так и совершенных монокристаллов.

Цель работы:

1. Проведение исследований и обеспечение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, проводимых организациями Российской Федерации, с предоставлением возможности использования методов, основанных на применении потоков как тепловых и быстрых нейтронов ядерного реактора для получения фундаментальной научной информации об особенностях кристаллической, нанокристаллической и магнитной структур и фазовых переходов в функциональных материалах, определяющих их служебные свойства; о влиянии реакторного облучения на структуру и свойства материалов (в том числе, конструкционных, для атомной энергетики) с последующей разработкой рекомендаций по созданию новых радиационно-стойких материалов и радиационной модификации свойств сплавов и соединений.
2. Развитие материально-технической базы УСУ «Атомный реактор ИВВ-2М, рег. № 01-34 (Нейтронный материаловедческий комплекс ИФМ УрО РАН)» путем дооснащения имеющихся специализированных комплексов (лабораторий), приобретаемым научным оборудованием для обеспечения и развития исследований в режиме коллективного пользования.

В 2008 году в ходе работ «Обеспечение реализации мероприятий ФЦП и других научных проектов и дооснащение имеющегося специализированного комплекса» в соответствии с Техническим заданием и Календарным планом:

- проведены научные исследования в рамках реализации мероприятий ФЦП,

включающие в себя:

- Исследование кристаллических, нанокристаллических и магнитных структур и особенностей структурного состояния и фазовых переходов в сплавах и соединениях (в том числе, облученных быстрыми нейтронами и гамма-квантами) методами дифракции и малоуглового рассеяния нейтронов.
- Изучение особенностей решёточных и электронных свойств исследуемых веществ (в том числе, с наведённой радиоактивностью) общезначимыми методами.

– приобретены комплектующие Криосистемы для низкотемпературных нейтронографических исследований: Сухой гелиевый криостат шахтного типа с немагнитным держателем образца и нагревателем, Контроллер температуры tStat310хс и Турбомолекулярная откачная станция TSH 071E DN 63 ISO-K.

– выполнена предварительная сборка криосистемы и проведены пуско-наладочные работы.

Результаты предыдущих трех этапов работы приведены в Промежуточных отчетах:

- Промежуточный Отчет о научно-исследовательской работе «Нейтронные исследования особенностей структуры наноматериалов, кристаллических материалов со специальными свойствами (в том числе, конструкционных материалов для атомной энергетики в исходном состоянии и облученных в процессе эксплуатации), композиционных и керамических материалов на исследовательском водо-водяном атомном реакторе ИВВ-2М (Нейтронный материаловедческий комплекс ИФМ УрО РАН)»,

Этап 1, Инв. № 2298/1;

- Промежуточный Отчет о научно-исследовательской работе «Нейтронные исследования особенностей структуры наноматериалов, кристаллических материалов со специальными свойствами (в том числе, конструкционных материалов для атомной энергетики в исходном состоянии и облученных в процессе эксплуатации), композиционных и керамических материалов на исследовательском водо-водяном атомном реакторе ИВВ-2М (Нейтронный материаловедческий комплекс ИФМ УрО РАН)»,

Этап 2, Инв. № 2298/2;

- Промежуточный Отчет о научно-исследовательской работе «Нейтронные исследования особенностей структуры наноматериалов, кристаллических материалов со специальными свойствами (в том числе, конструкционных материалов для атомной энергетики в исходном состоянии и облученных в процессе эксплуатации),

композиционных и керамических материалов на исследовательском водо-водяном атомном реакторе ИВВ-2М (Нейтронный материаловедческий комплекс ИФМ УрО РАН)»,

Этап 3, Инв. № 2298/3.

По результатам исследований на 4-ом этапе опубликовано –15 статей, сделано – 25 докладов на конференциях. По результатам всего проекта опубликовано – 40 статей, сделано 55 докладов на конференциях.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	8
1. Научные исследования	10
1.1 Об учете пространственных эффектов при описании разрешения порошковых нейтронных дифрактометров	10
1.2 Атомная и субатомная структура нанокompозитов расширенных графит – железо	11
1.3 Магнитотепловые явления и энтропия в ферромагнетиках с фазовыми переходами 1 и 2 рода	12
1.4 Исследование кристаллической и магнитной структуры соединения $\text{Er}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_{2.18}$ в широком температурном интервале ( $4.2 < T < 750 \text{ K}$ )	12
1.5 Радиационное разупорядочение как метод формирования новых структурных и магнитных состояний в интерметаллидах $\text{R}_2\text{Fe}_{17}$	13
1.6 Нейтроно- и рентгенографическое исследование степени порядка в сплавах Гейслера $\text{Co}_2\text{CrAl}$ и $\text{Fe}_2\text{MnAl}$	14
1.7 Закономерности превращения кристалл - аморфное твердое тело при воздействии быстрых нейтронов	15
1.8 Эффекты структурного разупорядочения в окисных манганитах и титанатах лития	16
1.9 Магнетизм аморфного интерметаллида $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$	17
1.10 Магнитное состояние гидрида и дейтерида $\text{ErFe}_2$	18
1.11 Антиферро-ферромагнитный переход в $\text{La}_{0.75}\text{Sm}_{0.25}\text{Mn}_2\text{Si}_2$	19
1.12 Гигантская магнитоупругая связь в мультиферродных гексагональных манганитах	20
1.13 Эффекты радиационного разупорядочения в CVD-алмазе	21
2 Закупка и пуско-наладка оборудования	22
3 Сведения об услугах коллективного пользования	23
4 Модернизация существующего оборудования и приобретение нового оборудования	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	26
Приложение А. Список публикаций 2008 года	34
Приложение Б. Достигнутые технико-экономические показатели (информация по п. 9.3 Технического задания)	39

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

ИВВ-2М	- Исследовательский водо-водяной атомный реактор ИВВ-2М
ИФМ УрО РАН	- Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук
МУВ	- магнитоупругое взаимодействие
ДСД	- двухосный стресс-дифрактометр
РГ	- расширенный графит
МУРН	- малоугловое рассеяние нейтронов
КПД	- коэффициент полезного действия
СИС	- суперионное состояние
ПЧД	- позиционно-чувствительный детектор

## ВВЕДЕНИЕ

Исследовательский атомный реактор ИВВ-2М (г. Заречный Свердловской обл.) является единственным в Урало-Сибирском регионе, где проводятся прикладные и фундаментальные исследования с использованием потоков быстрых и тепловых нейтронов. В настоящий момент главными направлениями исследований на реакторе ИВВ-2М являются: радиационная физика и радиационное материаловедение, нейтронные исследования конденсированного состояния. В рамках радиационного направления проводятся исследования дефектов, структурных и фазовых превращений, диффузионных процессов и физических свойств твердых тел при высокоэнергетичных излучениях и термических воздействиях. Объектами нейтронографического направления исследований являются сплавы и соединения с сильными электронными корреляциями (в частности, магнетики, сверхпроводники, Кондо-системы и др.). Кроме радиационного и нейтронографического направлений исследований на реакторе ИВВ-2М проводится комплекс мероприятий по модернизации материально-технической базы.

Основанием для проведения НИР по теме: «Нейтронные исследования особенностей структуры наноматериалов, кристаллических материалов со специальными свойствами (в том числе, конструкционных материалов для атомной энергетики в исходном состоянии и облученных в процессе эксплуатации), композиционных и керамических материалов на исследовательском водо-водяном атомном реакторе ИВВ-2М (Нейтронный материаловедческий комплекс ИФМ УрО РАН)» шифр «2007-7-1.8-00-03-005», выполняемой в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», является решение Конкурсной комиссии Роснауки № 10 (протокол от «30» марта 2007г. № 7), на основании которого заключен государственный контракт от «19» апреля 2007 г. № 02.518.11.7026.

Работы в рамках государственного контракта направлены на решение таких актуальных проблем физики твердого тела, как механизмы радиационной повреждаемости материалов, особенности формирования магнитных структур в соединениях переходных металлов, природа суперионного состояния твердых электролитов, структура наноматериалов.

Конкретно, на 4-ом этапе предполагалось провести:

- Исследование кристаллических, нанокристаллических и магнитных структур и особенностей структурного состояния и фазовых переходов в сплавах и соединениях  $ZnSeV$ ,  $Pr_{1-x}Sr_xMnO_3$ ,  $La_{2-2x}Sr_{1+2x}Mn_2O_7$ ,  $LiMn_2O_4$ ,  $PbSnSe$ ,  $Nd_{1-x}Tb_xCo_2$ ,  $ErFe_2$ ,



$Zn_{0.55}Mn_{0.45}Fe_2O_4$ , в том числе, облучённых быстрыми нейтронами и гамма-квантами, методами дифракции и малоуглового рассеяния нейтронов.

- Изучение особенностей решеточных и электронных свойств исследуемых веществ (в том числе, с наведенной радиоактивностью) общезначимыми методами.

Такие исследования необходимы для разработки новых радиационно-стойких конструкционных материалов для ядерной и термоядерной энергетики, синтеза новых сорбентов и катализаторов.

Работа проводилась коллективом высококлассных специалистов на высоком научно-техническом уровне на экспериментальных установках, своевременно прошедших метрологическую аттестацию.

В соответствии с Техническим заданием и Календарным планом было запланировано оснащение уникальной установки - атомного реактора ИВВ-2М комплексом для низкотемпературных нейтронографических исследований, включающим в себя сухой гелиевый криостат с контроллером температуры, откачной станцией и гелиевым рефрижератором. На 4-м этапе было запланировано провести закупку недостающего оборудования, сборку Комплекса в целом и пробные пуско-наладочные работы.

По результатам исследований на 4-ом этапе опубликовано – 15 статей, сделано – 25 докладов на конференциях. По результатам всего проекта опубликовано – 40 статей, сделано 55 докладов на конференциях.

## **1 Научные исследования**

### **1.1 Об учете пространственных эффектов при описании разрешения порошковых нейтронных дифрактометров**

Задача корректного описания зависимостей ширин и интегральных интенсивностей брэгговских пиков от аппаратурных параметров достаточно легко решается только в рамках упрощенного подхода к анализу разрешения нейтронных приборов, когда пренебрегают пространственными эффектами, т. е. не учитывают неоднородность по поперечному сечению нейтронного потока и ее изменение по тракту дифрактометра. При этом прибор эффективно сводится к устройству, оперирующему только в пространстве волновых векторов нейтронов. В то же время решение этой проблемы является принципиально важным для систем, содержащих фокусирующие элементы, т.е. управляющих характеристиками потоков в координатном пространстве. Исследование разрешения приборов возможно различными способами, например, с помощью моделирования процессов рассеяния нейтронов с использованием метода Монте-Карло. Однако большой интерес представляет получение именно аналитических выражений, позволяющих, с одной стороны, дать интерпретацию наблюдаемых эффектов, а с другой – вести осознанный поиск оптимальных условий проведения эксперимента. Особенно эффективным является сочетание аналитического подхода и численного моделирования. На основе развитого нами математически корректного подхода получены выражения для параметров нейтронных пиков, учитывающие пространственные эффекты. Анализ проблемы показывает, что описание весьма широкого набора конструкций дифрактометров может быть сделано с помощью формул единой структуры, которые имеют ясную геометрическую интерпретацию. Полученные результаты применены на практике для описания реального нейтронного дифрактометра. Результаты анализа сопоставлены с результатами модельного расчета, основанного на методе Монте-Карло. На конкретных примерах показано, что пространственные эффекты могут значительно влиять на угловую зависимость ширины линии. Развитый метод поддается обобщению и уточнению. В частности, с его помощью оказалось возможным описать специфические искажения формы линии пиков, возникающие из-за кривизны участка конуса Дебая-Шерера, захватываемого детектором прибора. При этом удалось выяснить степень влияния на величину такого эффекта различных параметров прибора и разработать рекомендации по его частичной компенсации.

## 1.2 Атомная и субатомная структура нанокompозитов расширенного графита – железо

Расширенный графит (РГ) является низкоплотным пухообразным материалом, получаемым методом быстрого термораспада интеркалированных соединений окисленного графита на основе фторидов, оксидов и аминофторидов графита. В настоящее время он рассматривается в качестве наиболее эффективного углеродного сорбента жидких токсикантов и биологически активных веществ с рекордной сорбционной емкостью. Другим важным направлением в научном и прикладном плане является использование РГ для синтеза нанокompозитных материалов «РГ-металл», «РГ-оксид металла», «РГ-соль металла», «РГ-твердые лекарственные препараты». Их можно приготовить путем сорбции на РГ кристаллических веществ из их растворов с последующим термическим разложением или восстановлением в различных средах.

В работе методом дифракции нейтронов и рентгеновских лучей и малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов исследована атомная и субатомная структура образцов композита РГ-Fe в широком интервале концентрации железа (0,1-33 ат.%). На дифрактограммах отчетливо обнаруживаются две фазы: типичная для РГ гексагональная структура с увеличенным по сравнению с обычным кристаллическим графитом параметром  $c$  и структура  $\alpha$ -Fe. Наноразмерные частицы РГ и железа инициировали малоугловое рассеяние нейтронов. Для разделения этих вкладов использовалась техника поляризованных нейтронов. Задача, однако, усложнялась заметной деполяризацией пучка на металлической фазе, которую не удавалось подавить внешним магнитным полем до 8 кЭ. Поэтому разделение ядерной и магнитной компонент в малоугловом рассеянии выполнено аналитически по формулам, полученным в данной работе. В них учитывается величина деполяризации пучка и небольшая по величине (до 5%) зависимость эффективности флиппера от угла рассеяния.

Предварительные расчеты показывают, что объемная доля наночастиц, дающих вклад в малоугловое рассеяние, составляет порядка 0,1% и меньше. Размеры частиц железа характеризуются бимодальным распределением и составляют порядка 7-15 нм и 30-60 нм, а размеры частиц РГ лежат в пределах 10-50 нм.

## 1.3 Магнитотепловые явления и энтропия в ферромагнетиках с фазовыми переходами 1 и 2 рода

С помощью обменно-стрикционной модели ферромагнетика получено аналитическое выражение для магнитной энтропии ферромагнетиков с магнитными фазовыми переходами первого и второго рода. Рассчитана температурная зависимость изменения энтропии ферромагнетика  $\Delta S_m^{\max}$  при включении и выключении магнитного

поля и давления (магнитокалорический (МКЭ) и барокалорический (БКЭ) эффекты). Проведен анализ поведения основных характеристик МКЭ и БКЭ при переходе через трикритическую точку, в которой происходит изменение рода магнитного фазового перехода.

Показано, что в области фазовых переходов второго рода максимальное значение  $\Delta S_m^{\max}$  принимает в трикритической точке. Причем  $\Delta S_m^{\max}$  увеличивается в четыре раза, при росте постоянной магнитоупругого взаимодействия (МУВ) от 0 до критического значения. В области магнитных фазовых переходов первого рода, при дальнейшем росте постоянной МУВ,  $\Delta S_m^{\max}$  также растет по определенному закону.

Получены приближенные аналитические формулы для численных оценок  $\Delta S_m^{\max}$  в зависимости от магнитного поля и давления, в различных областях фазовой диаграммы. Дано объяснение большой величины магнитотепловых эффектов при магнитных фазовых переходах первого рода. Проведено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными для ферромагнетиков системы  $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ ,  $0.8 < x < 0.9$ .

#### **1.4 Исследование кристаллической и магнитной структуры соединения $\text{Er}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_{2.18}$ в широком температурном интервале ( $4.2 < T < 750$ K)**

Соединения  $\text{R}_2\text{Fe}_{17}$  и их гидриды, карбиды и нитриды представляют значительный практический и научный интерес как материалы для постоянных магнитов и как модельные объекты для проверки теоретических представлений при анализе магнитных свойств металлических магнетиков. Наряду с высокими значениями температур Кюри (ТС), в ряде из них наблюдается значительная магнитная анизотропия, сравнимая по величине с обменным взаимодействием между редкоземельной и 3d- подрешетками. Если об обменных взаимодействиях и магнитной анизотропии чистых  $\text{R}_2\text{Fe}_{17}$  накоплено и проанализировано много информации [К. Н. J. Buschow, Rep. Prog. Phys., 1991, Vol. 54, 1123, С.А. Никитин, И.С. Терешина// ФТТ, 2003, Том 45, в.10, с. 1850] то для этих соединений с атомами внедрения (Н, С, N) положение менее удовлетворительно. Так практически отсутствует систематическое исследование магнитной анизотропии. Это связано с тем, что монокристаллы  $\text{R}_2\text{Fe}_{17}$  достаточно трудно получить обычными методами. Поэтому информацию о величине констант магнитной анизотропии приходится получать косвенными методами.

Модельным соединением с нашей точки зрения является  $\text{Er}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ , т.к. при внедрении в решетку азота значительно увеличивается температура Кюри до  $\sim 700$  K. Кроме того, известно, что в этом соединении наблюдается спин-ориентационный (СП) переход при температуре порядка  $T \sim 150$  K. Никакого теоретического анализа СП перехода пока не

проведено. В настоящее время не известен и род этого магнитного фазового перехода. Для соединений  $\text{Er}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$  не определены численные значения констант анизотропии редкоземельной и железной подрешеток. В тоже время эта информация необходима для интерпретации спектров магнитного кругового дихроизма рентгеновских лучей. Так в работе [J. Chaboy, H. Maruyama, N. Kawamura and M. Suzuki// Phys. Rev. B, 2004, Vol. 69, 014427] обнаружено сильное изменение этого спектра при СП переходе и причина этого изменения не ясна.

Целью настоящей работы является нейтронографическое исследование кристаллической и магнитной структуры соединения  $\text{Er}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_{2.18}$  в широком интервале температур для определения величины и направления намагниченностей Er и Fe подрешеток и уточнения особенностей кристаллической структуры соединения. Методом теории молекулярного поля рассчитаны и сравнены с экспериментом температурные зависимости намагниченности атомов эрбия и железа. На основе известной модели дана интерпретация перехода спиновой переориентации и определены численные значения первых констант магнитной анизотропии атомов Er и Fe.

### **1.5 Радиационное разупорядочение как метод формирования новых структурных и магнитных состояний в интерметаллидах $\text{R}_2\text{Fe}_{17}$**

Важной практической задачей является поиск новых материалов для сравнительно дешевых и высокоэнергоемких постоянных магнитов. В настоящее время наиболее перспективными в качестве постоянных магнитов считаются интерметаллические соединения  $\text{R}_2\text{Fe}_{17}$ , в которых содержится наибольшее количество железа (в расчете на R-атом). Препятствием являются неожиданно низкие температуры Кюри (порядка (300-400) К). Разобраться с причинами необычно низких  $T_C$  с целью найти дешевый способ ее радикального увеличения, является важной фундаментальной задачей, имеющей большое практическое значение. Поэтому необходим экспериментальный поиск закономерностей изменения магнитного состояния. Чаще всего для этого используют введение в решетку дефектов атомного масштаба (легирование подрешетки железа другими элементами, внедрение в междоузлия легких атомов и т.п.). Но при этом меняется стехиометрия образца и трактовка результатов довольно неоднозначна. Для устранения подобных неопределенностей необходимы методы изменения магнитного состояния без изменения состава образца, одним из них является облучение быстрыми нейтронами. При облучении быстрыми нейтронами изменяется локальное окружение атомов и межатомные расстояния, как правило, объем ячейки увеличивается.

Именно поэтому основной целью данной работы было изучение магнитных

свойств и структурного состояния интерметаллидов, облученных быстрыми нейтронами. В работе представлены результаты структурных и магнитных исследований разупорядоченных быстрыми нейтронами интерметаллических соединений  $R_2Me_{17}$  ( $R=Y, Er, Ce$ ;  $Me=Fe, Ni$ ) Разупорядоченная структура была получена облучением быстрыми нейтронами энергией большей 0.1 Мэв в вертикальном канале реактора ИВВ-2М при температуре 80°С. После радиационного воздействия произошли значительные изменения магнитного состояния: увеличилась  $T_C$  (например в  $Y_2Fe_{17}$  до 370 К), в тоже время в  $Ce_2Fe_{17}$  обнаружили фазовый переход из антиферро- в ферромагнитное состояние с колоссальным ростом температуры Кюри (до 350 К). Подобные изменения, рост точки Кюри и спонтанного момента для ферромагнетиков и превращение антиферромагнетиков в ферромагнетики, можно сравнить результатами на гидрированных сплавах  $R_2Fe_{17}$  [Iwasieczko W., Kuchin A.G., Drulis H.// Journal of Alloys and Compounds, 2005, 392, 44-49, O. Prokhnenko, Z. Arnold, A. Kuchin, C. Ritter, O. Isnard, J. Kamarád, W. Iwasieczko, H. Drulis// J. Appl. Phys., 2006, 100, 013903(9)]. Нейтронографические исследования показали разупорядочение исходной структуры с возникновением значительных статических смещений атомов из узлов решетки. При промежуточных флюенсах быстрых нейтронов симметрия решетки сохраняется, но происходит увеличение объема решетки. При большом флюенсе наблюдается аморфизация соединения  $Ce_2Fe_{17}$ , которая сопровождается уменьшением  $T_C$  до 160 К. Проведенные изохронные отжиги на образце  $Ce_2Fe_{17}$ , облученном быстрыми нейтронами флюенсом  $1.3 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$  в вакууме, показали восстановление исходного структурного состояния.

### **1.6 Нейтроно- и рентгенографическое исследование степени порядка в сплавах Гейслера $Co_2CrAl$ и $Fe_2MnAl$**

В связи с развитием спиновой электроники широко ведется поиск материалов с высокой степенью спиновой поляризации носителей заряда. Согласно зонным расчетам, к таким материалам можно отнести полуметаллические ферромагнетики (ПМФ). Особенностью их электронной структуры является наличие конечной плотности состояний на уровне Ферми в системе зон с одним направлением спина и щель в плотности состояний в другой системе зон. К ПМФ можно отнести сплавы Гейслера  $Co_2CrAl$  и  $Fe_2MnAl$ .

В реальных образцах неизбежно имеется структурный беспорядок, который может привести к некоторому замытию щели и изменению электронной структуры. Поэтому крайне важно изучить реальное распределение атомов по узлам кристаллической решетки в образцах. Результаты структурных исследований позволят провести зонные расчеты с

учетом реального беспорядка и построить модель изменения плотности состояний на уровне Ферми и спиновой поляризации носителей заряда. Экспериментальных работ, в которых бы изучалась степень атомного упорядочения и его влияние на конкретные физические свойства данных сплавов, нет.

В настоящей работе впервые выполнены структурные нейтронографические и рентгенографические исследования сплавов Гейслера  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  и  $\text{Fe}_2\text{MnAl}$  с целью определения степени атомного порядка. Было показано, что эти сплавы имеют кристаллический тип структуры  $L2_1$ , однако наблюдается сильное разупорядочение. Обсуждаются корреляции структурных, магнитных и других физических свойств со степенью разупорядочения кристаллической структуры.

### **1.7 Закономерности превращения кристалл - аморфное твердое тело при воздействии быстрых нейтронов**

Методами нейтронной и рентгеновской дифракций, мессбауэровской спектроскопии, техники поляризованных нейтронов и магнитными методами изучали аморфизируемые при облучении быстрыми нейтронами оксиды на основе иттриевого феррограната  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ . Радиационная аморфизация является, по-видимому, следствием статистического перераспределения при облучении катионов железа и иттрия с существенно различающимися ионными радиусами, по неэквивалентным кристаллографическим позициям. Значительные неоднородные статические смещения ионов, возникающие при этом процессе, неизбежно ведут к потере трансляционной симметрии. Существенно, что при таком «дисторсионном» механизме аморфизации химический состав и сплошность образца фактически не изменяются.

Анализ результатов исследований показывает, что в аморфном состоянии, полученном радиационным способом, сохраняются (разумеется в искаженном виде) координационные полиэдры, характерные для структуры граната, а средние межионные расстояния Fe-O и углы связи Fe-O-Fe близки к аналогичным величинам в кристалле. Аморфное и кристаллическое состояния в этом случае фактически различаются лишь величиной смещений ионов из положений равновесия и их направленностью. Аморфизация феррогранатов приводит к разрушению дальнего ферромагнитного порядка, характерного для кристаллической структуры. В результате исследований установлено, что магнитное состояние аморфных оксидов - спиновое стекло с температурой замерзания  $\sim 50$  К. Локальная магнитная структура аморфного оксида характеризуется «сперомагнитным» типом упорядочения. Установлено, что магнитные моменты ионов железа уменьшаются до  $(2.2-2.3)\mu_B$ , что связано, по-видимому, с резким возрастанием

степени ковалентности химической связи при аморфизации. Можно полагать, что разрушение кооперативного упорядочения координационных многогранников при аморфизации приводит к значительному усилению координационно-ковалентных связей в отдельных полидрах.

Облучение быстрыми нейтронами как метод воздействия представляет уникальную возможность последовательно проследить, как изменяется магнитное состояние по мере аморфизации кристаллической структуры граната. Нейтронографические исследования показали, что введение дефектов замещения путем облучения приводит к следующим эффектам в магнитной подсистеме  $Y_3Fe_5O_{12}$ : уменьшается магнитный момент и деформируется магнитный форм-фактор ионов железа, локализованных в октаэдрической подрешетке. Анализ показывает, что при введении дефектов ковалентность химической связи Fe-O в тетрадрах практически не изменяется, тогда как ковалентность связи в октаэдрах увеличивается при облучении примерно в два раза.

## **1.8 Эффекты структурного разупорядочения в окисных манганитах и титанатах лития**

Соединения шпинельного типа с общей химической формулой  $LiMe_2O_4$  (Me - 3d переходный металл) активно исследуются в последнее десятилетие, поскольку являются перспективными катодными материалами для перезаряжаемых батарей. Ряд таких соединений обладает набором весьма интересных физических свойств. Так, например, в стехиометрическом литиевом манганите со структурой нормальной кубической шпинели  $Li^+[Mn^{4+}Mn^{3+}]O_4^{2-}$  в окрестности комнатной температуры возникает зарядовое упорядочение ионов  $Mn^{4+}$  и  $Mn^{3+}$  по типу  $(1/3, 1/3, 0)$ , сопровождающееся орторомбическими искажениями кристаллической структуры. Зарядовое упорядочение в данном случае фактически управляет дальним антиферромагнитным порядком, который возникает при охлаждении образца ниже 65 К, т.к. снимает вырождение спин-системы, характерное для кубических шпинелей, содержащих магнитные ионы только в октаэдрической подрешетке. Вместе с тем этот структурный переход (I-рода), вызванный зарядовым упорядочением, резко снижает количество циклов перезарядки батарей при практическом использовании.

В настоящей работе методами нейтронной и рентгеновской дифракций, магнитными методами изучены структурное и магнитное состояния следующих соединений: стехиометрический ( $LiMn_2O_4$ ) и нестехиометрический ( $Li_{1.33}Mn_{1.66}O_4$ ) манганиты лития, а также нестехиометрический титанат лития  $Li_{1.33}Ti_{1.66}O_4$ . Образцы



исследовали как в исходном (после синтеза), так и в структурно разупорядоченном состояниях. Для получения разупорядоченного состояния образцы облучали флюенсом быстрых ( $E_{eff.} \sim 1 \text{ Mev}$ ) нейтронов  $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$  при температуре не выше 340 К в герметичных алюминиевых ампулах в водной полости исследовательского ядерного реактора ИВВ-2М.

В исходном структурном состоянии исследуемых соединений ионы марганца (титана) локализованы исключительно в октаэдрических (16d) позициях, а ионы  $\text{Li}^+$  в (8a) тетраэдрических позициях. В нестехиометрических соединениях ионы лития частично занимают и (16d) позиции. Установлено, что облучение приводит к заметному перераспределению катионов по неэквивалентным кристаллографическим позициям. Исследования показали, что в облученных образцах 20 -30 % (8a) – позиций занято ионами марганца (титана). Структурное разупорядочение приводит к радикальному изменению физических свойств исследуемых объектов. Разрушается зарядовое упорядочение, существующее в исходном образце  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ . Возникает сильное межподрешеточное косвенное обменное взаимодействие  $\text{Mn}(8a)\text{-O-Mn}(16d)$ . Как следствие, при разупорядочении происходят магнитные превращения антиферромагнетик – ферримагнетик ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) и парамагнетик – ферримагнетик ( $\text{Li}_{1.33}\text{Mn}_{1.66}\text{O}_4$ ). Анализ совокупности экспериментальных данных показывает, что реализующиеся ферримагнитные упорядочения являются неколлинеарными. Отклонения от коллинеарной магнитной структуры носят характер локальных спиновых отклонений (т. н. кантинг).

### 1.9 Магнетизм аморфного интерметаллида $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$

Нейтрон-дифракционными и магнитными методами изучено магнитное состояние поликристаллического и аморфного образцов интерметаллида  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ . Аморфное состояние было получено облучением интерметаллида флюенсом быстрых ( $E_{eff} \sim 1 \text{ МэВ}$ ) нейтронов  $1.5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$ . Наши нейтрон-дифракционные исследования кристаллического образца  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$  подтверждают литературные данные о существовании коллинеарного ферромагнитного упорядочения при  $T < 95 \text{ К}$  и плоской спирали типа  $SS$  в интервале температур  $95 < T < 204 \text{ К}$ , формирующейся в результате конкуренции ферро- и антиферромагнитных взаимодействий между ближайшими атомами железа, локализованными в различных кристаллографических позициях.

Разрушение упорядоченного расположения обменных связей при аморфизации приводит к радикальному изменению магнитного состояния. Аморфный  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$  является ферромагнетиком с температурой Кюри 170 К. Разностным методом из картин нейтронной дифракции, измеренных при 78 и 295 К, получен магнитный структурный

фактор аморфного  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ . Из экспериментальных данных восстановлена спиновая корреляционная функция, характеризующая пространственное распределение нескомпенсированной спиновой плотности в аморфном  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ . Локальная магнитная структура аморфного интерметаллида в общих чертах похожа на низкотемпературную ферромагнитную структуру кристаллического  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ . Вместе с тем аморфизация приводит к понижению магнитного момента на атоме железа с  $1.66 \mu_B$  до  $1.49 \mu_B$  и появлению в области низких температур в слабых магнитных полях аномалий намагниченности, характерных для т.н. “возвратного” перехода в состояние спинового стекла. Наблюдаемое нами интенсивное малоугловое рассеяние нейтронов магнитного происхождения свидетельствует о возникновении в ферромагнитном аморфном  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$  микрообластей размером  $\sim 15 \text{ \AA}$  с локальными спиновыми отклонениями в результате конкуренции ферро- и антиферромагнитных обменных взаимодействий. Появление локальных флуктуаций  $z$ -проекций магнитного момента объясняет, на наш взгляд, происхождение наблюдаемых низкотемпературных аномалий магнитных свойств в аморфном  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ .

На основе экспериментальных данных построены фазовые ( $H$ - $T$ ) диаграммы магнитных состояний кристаллического и аморфного  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ . Показано, что магнитное поле разрушает как антиферромагнитное состояние в кристаллическом  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ , так и низкотемпературное смешанное магнитное состояние (сочетающее типичные для ферромагнетиков и спиновых стекол свойства) в аморфном  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ .

### 1.10 Магнитное состояние гидрида и дейтерида $\text{ErFe}_2$

Большой интерес к исследованиям гидридов редкоземельных интерметаллидов типа  $\text{RM}_2\text{H}_x$  обусловлен высокой адсорбционной способностью металлической подсистемы, интригующими изменениями магнитных свойств при гидрировании и явлением водородно-индуцированной аморфизации, наблюдающейся в некоторых случаях даже при очень низких температурах и давлении водорода. Одно из таких интригующих изменений это увеличение магнитного момента  $3d$  – переходного металла, в то время как температура Кюри значительно понижается при гидрировании.

К настоящему времени гидридам типа  $\text{RM}_2\text{H}_x$  посвящено огромное число теоретических и экспериментальных работ, тем не менее пока нет нейтронографических исследований кристаллической структуры и магнитного состояния гидридов, в которых реализуется спонтанный переход из ромбоэдрической фазы в кубическую при повышении температуры.

Нами проведены нейтронографические измерения гидрида и дейтерида  $\text{ErFe}_2\text{H}_{3.1}$  и

$\text{ErFe}_2\text{D}_{3.1}$ . Измерения выполнены в интервале температур 12 – 450 К, включающем температуру Кюри. При 450 К оба образца находятся в кубической фазе, структурный тип  $\text{MgCu}_2$ , пр. Группа  $\text{Fd}3\text{m}$ . С понижением температуры дейтерида до 320 К на нейтронограммах возникает расщепление линий, свидетельствующее о структурном переходе в ромбоэдрическую фазу (пр. Группа  $\text{R-}3\text{m}$ ). При комнатной температуре дейтерид содержит кубическую и ромбоэдрическую фазы с параметрами решеток  $a=7.766 \text{ \AA}$  – кубическая фаза и  $a=5.556 \text{ \AA}$  и  $c=13.267 \text{ \AA}$  – ромбоэдрическая фаза. Переход заканчивается при 250 К. Такой же переход в гидриде полностью заканчивается при 300 К, что на 50 К выше, чем в случае дейтерида. Таким образом, изотопный эффект проявляется, как различие температур структурного перехода в гидриде и дейтериде.

При 12 К магнитная структура гидрида и дейтерида описывается волновым вектором  $\mathbf{k}=0$ , намагниченности эрбиевой и железной подрешеток антипараллельны друг другу. Величина намагниченности Fe ионов равна 1.8  $\mu_B$ , что несколько выше, чем намагниченность Fe ионов в исходном сплаве  $\text{ErFe}_2$ . Напротив, намагниченность эрбиевых ионов уменьшилась при гидрировании с 8.8  $\mu_B$  (в исходном сплаве) до 4.3  $\mu_B$  в дейтериде. Температуры Кюри дейтерида и гидрида примерно, одинаковы и составляют, около, 430 К. Что почти на 200 К ниже, чем  $T_C$  исходного сплава  $\text{ErFe}_2$ .

Полученные данные позволяют предположить, что обменное Er-Fe взаимодействие обуславливает значительный вклад в температуру Кюри гидридов и дейтеридов, тогда как в негидрированных соединениях этот вклад относительно невелик.

### 1.11 Антиферро-ферромагнитный переход в $\text{La}_{0.75}\text{Sm}_{0.25}\text{Mn}_2\text{Si}_2$

Магнетизм систем, содержащих атомы Mn, показывает разнообразие магнитных структур. Такое свойство этих систем происходит из-за хорошо известного факта, что магнитный момент и обменные Mn-Mn взаимодействия очень чувствительны к геометрии и межатомным расстояниям. Антиферромагнитные взаимодействия между ближайшими атомами конкурируют с ферромагнитными взаимодействиями между более удаленными атомами. Антиферро-ферромагнитный переход в соединениях типа  $\text{RMn}_2\text{Si}_2$  (где, R-редкоземельный элемент) есть переход от структуры, в которой соседние ферромагнитные слои связаны между собой антиферромагнитно к структуре с ферромагнитной связью между слоями. В этих соединениях согласно различным оценкам критическое расстояние при комнатной температуре равно  $d_c = 0.285\text{-}0.287 \text{ нм}$ . Хотя выполнено довольно большое число исследований, в которых проведены эксперименты, дающие косвенно значение критического расстояния, тем не менее, данные о прямых экспериментах пока отсутствуют.

Мы провели магнитные, рентгено- и нейтронографические измерения соединения  $\text{La}_{0.75}\text{Sm}_{0.25}\text{Mn}_2\text{Si}_2$ , чтобы прямым методом определить величину критического расстояния, при котором изменяется знак обменного Mn-Mn интеграла.

Наши рентгенографические данные свидетельствовали о скачке параметра решетки “a” при температуре, примерно,  $T_{\text{п}}=150$  К, тогда как параметр “c”, практически не показывал какой-то аномалии. Магнитные измерения свидетельствовали, что при  $T_{\text{п}}$  в образце возникает спонтанная намагниченность.

Чтобы исключить возможные изменения температуры во время измерений и одновременно контролировать температурное и поведение магнитной и кристаллической структур, мы использовали две системы детекторов нейтронов. Одна (позиционно-чувствительный детектор № 1) система регистрировала нейтроны, рассеянные в интервале углов, где имеет место значительное магнитное рассеяние, т.е. в области сравнительно малых углов рассеяния. Другая система (позиционно-чувствительный детектор № 2) регистрировала нейтроны, рассеянные в области больших углов.

В результате этого эксперимента мы установили, что смена антиферромагнитного порядка на ферромагнитный происходит при той же температуре, при которой существует скачок параметра «a». Из расчета угловых положений ядерных рефлексов мы определили значение критического расстояния  $d_c=0.283$  нм при 150 К.

### **1.12 Гигантская магнитоупругая связь в мультиферродных гексагональных манганитах**

Движение атомов в твердом теле, происходящее при охлаждении или при нагревании, всегда согласуется с симметрией пространственной группы, которая описывает данное твердое тело. Движение атомов сопровождается изменением электронной структуры, что приводит к особенностям в поведении различных свойств. Однако, экспериментальное изучение атомных смещений, измеряемых как функция температуры, встречается очень редко, так как в большинстве случаев эти смещения чрезвычайно малы. В данной работе показано, что с помощью дифракции синхротронного излучения и магнитной нейтронографии, можно детально исследовать атомные смещения в гексагональных манганитах  $\text{RMnO}_3$ . Установлено, что величины наблюдаемых в  $\text{RMnO}_3$  смещений атомов на два порядка больше, чем смещения в обычных магнитных материалах. Большая величина смещений атомов обусловлена необычно сильным магнитоупругим взаимодействием. Сделано предположение, что гигантское магнитоупругое взаимодействие в  $\text{RMnO}_3$  является ключом к пониманию магнитоэлектрических явлений в

гексагональных манганитах.

### 1.13 Эффекты радиационного разупорядочения в CVD-алмазе

Исследовано влияние разупорядочения, индуцированного облучением быстрыми нейтронами при температуре  $(325 \pm 10)$  К, на поведение электросопротивления  $\rho$ , магнитной восприимчивости  $\chi$ , теплоемкости  $c_V$ , комбинационного рассеяния света (КРС) и структурного состояния образцов синтезированного в СВЧ плазме поликристаллического CVD-алмаза в виде пластинок  $4.0 \cdot 2.5 \cdot 0.5$  мм<sup>3</sup> в области больших флюенсов  $\Phi = (1-5) \cdot 10^{20}$  см<sup>-2</sup>. Согласно нейтронографическим измерениям, кристаллическая структура, в отличие от данных работы [В. Ю. Карасов и др. // ФТТ, 1984, 26], остается стабильной в этой области флюенсов, без заметного увеличения ширины структурных рефлексов. Увеличение

относительного объема кристаллической решетки хорошо описывается простой зависимостью, описывающей эффекты насыщения при дефектообразовании (сплошная линия на рис. 1),  $\Delta V/V = a(1 - \exp(-\Phi/\Phi_0))$ , где  $\Phi_0 = 1.2 \cdot 10^{20}$  см<sup>-2</sup>. Подобные эффекты насыщения наблюдаются также и при изменении других свойств. Величина  $\rho$  при облучении значительно уменьшается и имеет температурную зависимость активационного типа с энергией  $E_a \sim 0.3$  эВ с чрезвычайно низкой подвижностью носителей заряда  $|\mu_n| \leq 0.1$  см<sup>3</sup>/Кл, характерной для прыжкового типа проводимости. Данные КРС показывают полное подавление однофононной оптической моды при  $1332$  см<sup>-1</sup> и возникновение протяженного спектра в области  $(100 - 1700)$  см<sup>-1</sup>, соответствующего плотности фононных состояний. Облучение приводит к появлению парамагнитного вклада типа Кюри-Вейсса  $\chi = \chi_0 + C/(T + T_0)$ ,  $T_0 \sim 5$  К,  $C \sim 0.8$  К, а также к сильному (4 порядка) увеличению  $c_V$  в области низких температур с зависимостью, характерной для многоуровневой электронной системы типа аномалии Шоттки. Таким образом, радиационные дефекты несут эффективный электрический заряд, магнитный момент и образует многоуровневую электронную систему с масштабом расщепления порядка мэВ.

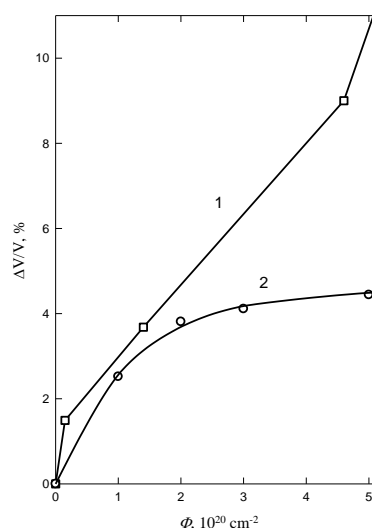


Рис.1. Увеличение относительного объема  $\Delta V/V$  как функция нейтронного флюенса  $\Phi$ : (1) – CVD алмаз, (2) – из работы [1].

## **2 Закупка и пуско-наладка оборудования**

В соответствии с Техническим заданием и Календарным планом проведён конкурс (тендер) на изготовление и поставку специализированного оборудования; с победителем конкурса ЗАО «РТИ, технологии, приборы, материалы» заключён Госконтракт № 14-ГК/08, в рамках которого:

- изготовлены сухой гелиевый криостат шахтного типа и контроллер температуры tStat310xc (с интерфейсом RS-232 для связи с компьютером);
- закуплена турбомолекулярная откачная станция TSH 071E DN 63 ISO-K (with DCU001and TPS100) в комплекте с широкодиапазонным датчиком и клапаном вентиляции турбомолекулярного насоса и соединительными шлангами длиной 1.5 и 3.5 метра для откачки криосистемы;
- выполнена предварительная сборка криосистемы в целом и проведены пробные пуско-наладочные работы.

### **3 Сведения об услугах коллективного пользования**

В 2008 году на пяти экспериментальных установках атомного реактора ИВВ-2М, доступных для внешних пользователей, оказываются услуги в проведении нейтронных исследований кристаллических и магнитных структур, фазовых переходов и возбуждений в металлах, сплавах и соединениях, в том числе, облученных быстрыми нейтронами.

Услуги коллективного пользования регулярно предоставляются следующим организациям УрО РАН в рамках Соглашений, заключенных с ними:

- Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург,
- Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург,
- Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург,
- Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург,
- Уральский государственный университет, Екатеринбург.

В 2008 году услугами Нейтронного материаловедческого комплекса пользовались следующие организации:

- Ин-т химии твердого тела УрО РАН
- Ин-т металлургии УрО РАН
- Ин-т высокотемпературной электрохимии УрО РАН
- Ин-т неорганической химии СО РАН
- Уральский Госуниверситет
- Российский федеральный ядерный центр-ВНИИТФ
- Белоярская атомная станция
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
- Институт физики металлов УрО РАН
- Институт реакторных материалов Росатома
- Объединенный Институт Ядерных Исследований

В целях расширения сотрудничества к реализации работ привлекаются партнеры как в России, так и за рубежом.

#### **4. Модернизация существующего оборудования и приобретение нового оборудования**

С целью оснащения данной уникальной установки современным специализированным научным оборудованием для существенного расширения возможностей нейтронных исследований конденсированного состояния различных веществ в рамках настоящего Госконтракта приобретена Криосистема для низкотемпературных нейтронографических исследований в составе:

##### **Криорефрижератор:**

- *Изготовитель - компания «Sumitomo»*
- *Тип - SRP-082B-F70H*
- *Хладопроизводительность 2-й ступени – не менее 1Вт при 4.2К*
- *Минимальная температура 2-ой ступени – менее 3К*
- *Время захолаживания до 4,2 К – не более 70 мин.*
- *Геометрия холодной головы - концентрическая*
- *Ресурс – 30 000 часов.*

##### **Компрессор**

- *Изготовитель - компания «Sumitomo»*
- *Тип – F 70H, комнатное исполнение, водоохлаждаемый, питание – трех фазное, 50Гц 380В, максимальный рабочий ток 20 А, длина питающего кабеля 20А x 20 метров;*
- *Замена адсорбера – 30 000 часов.*

##### **Криостат шахтного типа:**

- *Изготовитель - ЗАО «РТИ, технологии, приборы, материалы»*
- *Диапазон рабочих температур – 4.5 - 350К; Точность поддержания температуры в интервале 4.5 – 50 К не хуже  $\pm 0,1К$ , в интервале 50 – 350 К не хуже  $\pm 0,2К$ ; градиент температуры по образцу не более 0.5% от заданной;*
- *Размеры загружаемого образца – диаметр~10 мм, высота~70 мм;*
- *Высота центра образца над юстировочным столом нейтронного дифрактометра~240 мм с возможностью регулировки по высоте  $\pm 20мм$ .*

##### **Турбомолекулярная откачная станция:**

- *Изготовитель – Pfeiffer Vacuum;*
- *Тип - TSH 071E DN 63 ISO-K (with DCU001 and TPS 100)*
- *Охлаждение – воздушное;*
- *Вакуум – безмасляный;*
- *Скорость откачки по  $N_2$  – 33-60 литров/сек.;*
- *Скорость откачки форвакуумного насоса при давлении 10 mbar – 3.8 литров/мин.;*
- *Предельное давление -  $< 10^{-8}$  mbar;*
- *Вес – 15-16 кг.*

##### **Контроллер температуры tStat310хс:**

- *Изготовитель - ЗАО «РТИ, технологии, приборы, материалы»*
- *Интервал температур - 4.2-300К*
- *Температурный датчик - термопара Си:Си(Fe)*
- *Мощность нагревателя - не менее 100Вт*
- *Точность поддержания задаваемой температуры - не хуже  $\pm 0.5К$*
- *Компьютерный интерфейс - RS-232*



- *Управляющая программа (Windows)*

Выполнена предварительная сборка криосистемы в целом и проведены пробные пуско-наладочные работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Краткие выводы по результатам исследований в 2007-2008 гг.**

Выполнены все предусмотренные Техническим заданием и Календарным планом работы в рамках НИР по теме: «Нейтронные исследования особенностей структуры наноматериалов, кристаллических материалов со специальными свойствами (в том числе, конструкционных материалов для атомной энергетики в исходном состоянии и облученных в процессе эксплуатации), композиционных и керамических материалов на исследовательском водо-водяном атомном реакторе ИВВ-2М (Нейтронный материаловедческий комплекс ИФМ УрО РАН)» шифр «2007-7-1.8-00-03-005», выполняемой в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы». Шифр 2007-7-1.8-00-03-005. Государственный контракт от «19» апреля 2007 г. № 02.518.11.7026. Дополнительное соглашение от «20» сентября 2007 г. №1.

Выполнены все научные исследования и осуществлено обеспечение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, проводимых организациями Российской Федерации, с предоставлением возможности использования методов, основанных на применении потоков как тепловых и быстрых нейтронов ядерного реактора для получения фундаментальной научной информации об особенностях кристаллической, нанокристаллической и магнитной структур и фазовых переходов в функциональных материалах, определяющих их служебные свойства; о влиянии реакторного облучения на структуру и свойства материалов (в том числе, конструкционных, для атомной энергетики) с последующей разработкой рекомендаций по созданию новых радиационно-стойких материалов и радиационной модификации свойств сплавов и соединений

Синтезирован необходимый для запланированных исследований набор образцов. Проведены облучения образцов флюенсами быстрых нейтронов  $\Phi \sim (10^{17}-10^{20}) \text{ см}^{-2}$ . Исследованы структурные, магнитные и электронные свойства синтезированных образцов.

Для существенного расширения возможностей проводимых в настоящее время нейтронных исследований конденсированного состояния различных веществ проведено оснащение уникальной установки - атомного реактора ИВВ-2М комплексом для низкотемпературных нейтронографических исследований, включающим в себя сухой гелиевый криостат с контроллером температуры, откачной станцией и гелиевым рефрижератором.

**Краткие результаты исследования кристаллических, нанокристаллических и магнитных структур и особенностей фазовых переходов в сплавах и соединениях методами дифракции и малоуглового рассеяния нейтронов:**

- В последнее время существенно возрос интерес к полупроводниковым соединениям типа  $A^2B^6$ . В определенной мере он связан с идеей создания электронных приборов со спиновой поляризацией тока (спинтроникой) на базе этих соединений. В наших работах установлено, что массивные кристаллы  $Zn_{1-x}Cr_x^{2+}Se$ ,  $Zn_{1-x}Ni_xSe$  в отличие от тонких пленок являются весьма неэффективными с практической точки зрения.
- Электрохимический способ преобразования энергии имеет ряд преимуществ перед традиционными методами переработки природных топливных ресурсов, используемых в «большой» энергетике. Однако электрохимические процессы наиболее эффективны при высоких температурах (400-1000<sup>0</sup>C), что создает определенные трудности при выборе подходящих, совместимых друг с другом материалов. Это и является сдерживающим фактором быстрого развития электрохимической энергетике. Поэтому остается актуальной задача направленного воздействия на свойства твердых электролитов с целью повышения их проводимости и энергоемкости, понижения рабочей температуры и агрессивности по отношению к окружающей среде. Для успешного решения этой задачи необходимо понимание природы и механизма возникновения суперионного состояния, которое пока до конца не достигнуто и является одним из важнейших вопросов физики и химии твердых электролитов. К перспективным твердым электролитам относятся и предлагаемые для изучения суперионники  $Me_3PO_4$  (M=K, Rb, Cs). Определена кристаллическая структура низкотемпературных модификаций супериоников  $Me_3PO_4$  (Me=K, Rb, Cs). Показано, что проводимость в низкотемпературных фазах твердых электролитов  $K(Al/Fe)O_2$  и  $(K/Rb/Cs)_3PO_4$  носит преимущественно одномерный характер, связанный с существованием каналов проводимости вдоль выделенных направлений. При высокой температуре во всех соединениях существует структурный переход, температура которого совпадает с температурой скачка проводимости. Этот скачок, во первых, связан с образованием каналов проводимости вдоль трех кристаллографических осей (трехмерный характер), во вторых, в  $K(Al/Fe)O_4$  с коррелированным движением ионов калия с колебаниями тетраэдров, а в соединениях  $(K/Rb/Cs)_3PO_4$  с коррелированным движением ионов K/Rb/Cs с вращением пространственно разделенных тетраэдров  $PO_4$ . Эти процессы сопровождаются «плавлением» подрешетки щелочных металлов. Выявленные при высокой температуре в изученных соединениях структурные превращения способствуют возникновению суперионного

состояния.

- Слоистое строение графита и электронное строение углеродных слоев допускают спонтанное проникновение атомов и молекул некоторых веществ в межслоевые пространства с образованием интеркалированных соединений графита (ИСГ). С 70-х годов прошлого века ИСГ интенсивно изучаются во всех передовых странах, и, прежде всего, с целью создания на их основе новых функциональных углеродных материалов, реагентов с каталитическими свойствами и твердых носителей реакционноспособных веществ – щелочных металлов, фторидов и хлоридов металлов, оксидов неметаллов и безводных кислот. Установлено, что композиты «расширенный графит + металл» и «расширенный графит+  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ » включают в себя несколько фаз. Основной фазой является РГ (нанокристаллические частицы с гексагональной структурой графита, пространственная группа  $R\bar{3}m$ ). Частицы металла также имеют наноразмеры. Особенностью их структурного состояния является одновременное существование высокотемпературной и низкотемпературной фаз при 293 К, хотя соответствующий массивный образец металла содержит (при 293 К) лишь низкотемпературную фазу. Согласно данным магнитных измерений образцы «расширенный графит + металл» и «расширенный графит+  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ » являются магнитоупорядоченными. При этом в образцах с  $M = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$  спонтанный магнитный момент, отнесенный на  $M$ -атом, приблизительно равен моменту  $M$ -атома в случае массивного образца. Показано, что кристаллическая структура композитов на основе расширенного графита зависит от условий синтеза, и представляет из себя нанокристаллическую квазиаморфную фазу на базе гексагонального углерода, пронизанную микрокристаллическими блоками наполнителя с размерами 10-50 нм. Показано, что объемная доля наночастиц, дающих вклад в малоугловое рассеяние нейтронов в композитах «расширенный графит - железо», составляет порядка 0,1% и меньше. Установлено, что размеры частиц железа характеризуются бимодальным распределением и составляют порядка 7-15 нм и 30-60 нм, а размеры частиц расширенного графита лежат в пределах 10-50 нм.
- В рамках обменно-стрикционной модели ферромагнетика теоретически получено аналитическое выражение для магнитной энтропии ферромагнетиков с магнитными фазовыми переходами первого и второго рода. Рассчитана температурная зависимость изменения энтропии ферромагнетика  $\Delta S_m$  при включении и выключении магнитного поля и давления (магнитокалорический (МКЭ) и барокалорический (БКЭ) эффекты). Проведен анализ поведения основных характеристик МКЭ и БКЭ при переходе через трикритическую точку, в которой происходит изменение рода магнитного фазового

перехода. Показано, что в области фазовых переходов второго рода максимальное значение  $\Delta S_m^{\max}$  принимает в трикритической точке. Причем  $\Delta S_m^{\max}$  увеличивается в четыре раза, при росте постоянной магнитоупругого взаимодействия (МУВ) от 0 до критического значения. В области магнитных фазовых переходов первого рода, при дальнейшем росте постоянной МУВ,  $\Delta S_m^{\max}$  также растет по определенному закону.

- Обнаружено, что температурная зависимость поляризации нейтронов в  $TbNi_5$  имеет аномалии в точке перехода порядок-беспорядок (23 К) и при переходе из несоизмеримой магнитной структуры в look-in структуру. Обнаружена сильная зависимость поляризации от внешнего поля. На основании экспериментальных данных построена магнитная фазовая диаграмма соединений  $Tb_xEr_{1-x}Ni_5$  в координатах концентрация-температура, представляющая собой две пересекающиеся в тетракритической точке прямые линии. Полученный нами вывод о конкурирующих анизотропиях в соединениях  $(Tb,Er)Ni_5$ , представляет большой интерес в связи с обнаружением конкуренции между индуцированной одноосной анизотропией и магнито-кристаллической анизотропией в системах магнитной записи.
- Установлено, что магнитная структура соединений  $(Co_xNi_{1-x})_3V_2O_8$  может быть описана как продольная спиновая волна, распространяющаяся вдоль а-оси орторомбической решетки кристалла.
- Установлено, что величины наблюдаемых в  $RMnO_3$  смещений атомов на два порядка больше, чем смещения в обычных магнитных материалах. Большая величина смещений атомов обусловлена необычно сильным магнитоупругим взаимодействием. Сделано предположение, что гигантское магнитоупругое взаимодействие в  $RMnO_3$  является ключом к пониманию магнитоэлектрических явлений в гексагональных манганитах.
- Разработана математически корректная процедура получения функций разрешения нейтронных дифрактометров, применимая для описания приборов с фокусирующими монохроматорами и позволяющая учитывать неоднородности распределения характеристик нейтронных потоков в приборе по поперечному сечению.
- На основании развитого математически корректного подхода получены выражения для расчета функций разрешения нейтронных дифрактометров со сдвоенными монохроматорами (к числу которых относится используемый D-7a). Получены выражения для фильтрационных функций блоков монохроматора (одинарного и сдвоенного) для случаев, когда отражающие плоскости не параллельны поверхности кристаллов-монохроматоров (именно так во втором кристалле D-7a). Найдено компактное выражение для формы линии брэгговского пика с учетом

пространственных эффектов.

- Кривые намагниченности, полученные с использованием амплитуды импульсного магнитного поля 35 Т позволили сделать заключение, что, по крайней мере, часть ионов Со в соединении  $YBaCo_2O_{5.5}$  находится в низкоспиновом состоянии.

**Краткие результаты нейтронографического исследования особенностей структурного состояния веществ, облученных быстрыми нейтронами и гамма-квантами:**

- Сплавы на основе никелида титана относятся к классу промышленных материалов с большим эффектом памяти формы и являются привлекательным конструкционным материалом для использования в ядерно-физических установках. Однако до сих пор существенным ограничением их практического применения была низкая радиационная стойкость. Установлено, что небольшой уровень легирования железом существенно повышает радиационную стойкость сплавов на основе никелида титана.
- На примере граната  $Y_3Fe_5O_{12}$  показано, что облучение быстрыми нейтронами представляет уникальную возможность последовательно проследить изменение магнитного состояния по мере аморфизации кристаллической структуры граната. Воздействие быстрых нейтронов на гранат приводит к разрушению дальнего ферромагнитного порядка, характерного для кристаллической структуры. Установлено, что магнитное состояние аморфных оксидов - спиновое стекло с температурой замерзания 50 К. Локальная магнитная структура аморфного оксида характеризуется сперомагнитным типом упорядочения. Установлено, что магнитные моменты ионов железа уменьшаются до (2.2-2.3) магнетонов Бора, что возможно связано с резким возрастанием степени ковалентности химической связи при аморфизации. Можно полагать, что разрушение кооперативного упорядочения координационных многогранников при аморфизации приводит к значительному усилению координационно-ковалентных связей в отдельных полиэдрах.
- Соединения шпинельного типа с общей химической формулой  $LiMe_2O_4$  (Me - 3d переходный металл) активно исследуются в последнее десятилетие, поскольку являются перспективными катодными материалами для перезаряжаемых батарей. Известно, что в стехиометрическом литиевом манганите со структурой нормальной кубической шпинели  $Li^+[Mn^{4+}Mn^{3+}]O_4^{2-}$  в окрестности комнатной температуры возникает зарядовое упорядочение ионов  $Mn^{4+}$  и  $Mn^{3+}$  по типу (1/3,1/3,0), сопровождающееся орторомбическими искажениями кристаллической структуры. Вместе с тем структурный переход (I-рода), вызванный зарядовым упорядочением,

резко снижает количество циклов перезарядки батарей при практическом использовании. Установлено, что структурное разупорядочение быстрыми нейтронами разрушает зарядовое упорядочение, существующее в исходном образце  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , что благоприятствует практическому использованию соединений данного класса.

- Построены фазовые (H-T) диаграммы магнитных состояний кристаллического и аморфного  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ . Показано, что магнитное поле разрушает как антиферромагнитное состояние в кристаллическом  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ , так и низкотемпературное смешанное магнитное состояние (сочетающее типичные для ферромагнетиков и спиновых стекол свойства) в аморфном  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ .
- В широком температурном интервале исследовалась магнитная структура и транспортные свойства частично разупорядоченных кристаллов двумерных манганитов  $\text{La}_{2-2x}\text{Sr}_{1+2x}\text{Mn}_2\text{O}_7$  ( $x=0.3, 0.4$ ). Атомно-разупорядоченное состояние в кристаллах достигалось путем воздействия быстрых нейтронов. В этом случае концентрация дефектов замещения в среднем по кристаллу составляет  $x \sim 4\%$ . Установлено, что дефекты замещения являются причиной перехода манганита данного класса из состояния ферромагнитного металла в состояние изолятора со структурой спинового стекла.

**Краткие результаты изучения особенностей решеточных и электронных свойств исследуемых веществ (в том числе, с наведенной радиоактивностью) общезначимыми методами:**

- Впервые синтезирован новый класс сверхпроводников со слоистой кристаллической структурой: оксидвисмутиды никеля  $\text{LnNiO}_{1-\delta}\text{Bi}$  ( $\text{Ln}=\text{La}, \text{Sm}, \text{Th}$ ). Свойства сверхпроводящего ( $T_c = 4.4 \text{ K}$ ) и нормального состояний в  $\text{LaO}_{0.8}\text{NiBi}$  похожи на свойства оксиарсенидов. Это позволяет предполагать, что механизм возникновения сверхпроводящего состояния является универсальным для всего семейства оксидниктидов.
- Исследовано структурное состояние, теплоемкость, электрические и магнитные свойства поликристаллических образцов CVD-алмаза, облученных быстрыми нейтронами при температуре  $(325 \pm 10) \text{ K}$  в области больших флюенсов  $\Phi = (1-5) \cdot 10^{20} \text{ см}^{-2}$ . Несмотря на значительное увеличение объема элементарной ячейки ( $\sim 4.5\%$ ), кристаллическая структура остается стабильной в этой области флюенсов. Облучение приводит к появлению парамагнитного вклада в восприимчивость, а также к сильному (4 порядка) увеличению теплоемкости в области низких температур с

зависимостью, характерной для многоуровневых электронных систем (аномалия Шоттки).

- Замещение свинца оловом в узкощелевых полупроводниках PbSnSe приводит к сужению запрещенной щели и является приборным эффектом. Инфракрасные датчики на основе селенида свинца считаются радиационно-стойкими из-за высокой плотности состояний, стабилизирующих уровень Ферми. В работе исследовано влияние радиационных дефектов, образованных облучением быстрыми нейтронами и последующими изохронными отжигами, на свойства серии сплавов Pb-Sn-Se с целью выявления общих закономерностей изменения свойств при замещении. Облучение и отжиги позволяют обратимо сдвигать уровень химпотенциала в кристаллах, что используется, как для изучения электронной структуры, так и для модифицирования облучением электрофизических свойств материалов для электронных устройств. После облучения наблюдались изменения температурных зависимостей константы Холла и удельного сопротивления, в том числе, переходы металл-полупроводник и изменение доминирующего типа носителей заряда. При отжиге исходные свойства почти полностью восстанавливались. Исследовано поведение указанных эффектов облучения и отжигов при изменении химического состава монокристаллов.
- Фазовые переходы под действием высокого давления в системах Si, Ge, GaAs, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> до сих пор не являются полностью изученными. В работе исследовалось влияние примесей и дефектов на переход полупроводник-металл в германии и кремнии, влияние примесей и отжигов на образование промежуточных полупроводниковых и полуметаллических фаз высокого давления в арсениде галлия, и на сдвиг давления фазового перехода в магнетите Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> при комнатных температурах. Исследованы барические зависимости термоэдс и электросопротивления у всех указанных материалов в диапазоне давлений до 25 ГПа при комнатной температуре. В зависимости от содержания примесей и дефектов, полученных легированием или облучением высокоэнергетическими частицами (протонами), наблюдалось изменение характера барических зависимостей электросопротивления и термоэдс (например, изменение знака термоэдс), а также сдвиг давлений электронных и структурных фазовых переходов при высоком давлении. У некоторых образцов исследовано изменение спектров комбинационного рассеяния света в зависимости от содержания примесей и введенных дефектов.

Результаты исследований за 2007-2008 годы представлены в (40) научных статьях и доложены в (55) докладах на российских и международных научных конференциях.



## **Научная значимость работы**

Полученные результаты вносят вклад в понимание таких актуальных проблем физики твердого тела, как особенности формирования магнитных структур в соединениях переходных металлов, а также способствуют появлению новых физических идей для построения фундаментальной теории сильнокоррелированных систем. Результаты, полученные при изучении радиационных эффектов в модельных сплавах, в рабочих и кандидатных материалах для ядерной энергетики являются важными для разработки новых радиационно-стойких конструкционных материалов для новой техники и повышения безопасности эксплуатации существующей.

## **Практическая значимость работы**

Результаты, полученные при изучении радиационных эффектов в упорядоченных модельных сплавах и соединениях переходных металлов являются важными для разработки новых радиационно-стойких конструкционных материалов для ядерной энергетики. Изучавшиеся материалы с гигантским магнитосопротивлением рассматриваются как перспективные для создания датчиков и элементов запоминающих устройств для ЭВМ. Изучение особенностей строения твердых электролитов важно для создания новых источников энергии.

## **Предполагаемое использование результатов НИР**

- Использование новых научных данных для последующей интерпретации природы и сущности физики магнитных явлений в соединениях редкоземельных и переходных металлов.
- Использование новых научных данных для определения возможных физических механизмов формирования экстремальных свойств материалов.
- Использование радиационного облучения для модификации свойств материалов (направленное изменение магнитных, электрических и прочностных свойств).
- Использование нейтронографических данных для улучшения эксплуатационных свойств функциональных материалов, применяемых в практике (в частности, для ядерной и термоядерной энергетики)

## **Апробация работы**

По результатам исследований на 4-ом этапе опубликовано –15 статей, сделано – 25 докладов на конференциях. По результатам всего проекта опубликовано – 40 статей, сделано 55 докладов на конференциях.

**Список публикаций 2008 года:****Статьи:**

1. С.Ф.Дубинин, А.В.Королев, С.Г.Теплоухов, В.Е.Архипов, Э.А.Нейфельд, В.Д.Пархоменко, Н.А.Угрюмова. Электронное фазовое расслоение в кристалле манганита  $\text{La}_{0.95}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$  //ФТТ, 2008, Том 50, в. 1, сс. 69-76.
2. С.Ф.Дубинин, В.И.Соколов, А.В.Королев, С.Г.Теплоухов, Ю.Г.Чукалкин, В.Д.Пархоменко, Н.Б.Груздев. Магнитное состояние массивного кристалла  $\text{Zn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Se}$  //ФТТ, 2008. Том 50, в. 6, сс. 1042-1045.
3. В.И.Соколов, С.Ф.Дубинин, В.В.Гудков, А.Т.Лончаков. Неустойчивость решетки кристалла селенида цинка, индуцированная 3d-примесями// ФТТ, 2008, Том 50, в. 6, с. 1703-1706.
4. В.Д.Пархоменко, С.Ф.Дубинин, С.Г.Теплоухов. Влияние химического состава на аморфизацию быстрыми нейтронами сплавов на основе никелида титана// ФТТ, 2008, Том 50, в. 10, сс. 1733-1740.
5. С.Ф.Дубинин, В.И.Соколов, В.Д.Пархоменко, С.Г.Теплоухов, Н.Б.Груздев. Особенности структурного и магнитного состояния кристалла  $\text{Zn}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Se}$  ( $x=0.0025$ ) в области низких температур// ФТТ, 2008, Том 50, в. 12, сс. 2188-2191.
6. Ю.Н.Михайлов, В.А.Казанцев. Длинноволновые магнитные возбуждения в  $\text{Zn}_{0.55}\text{Mn}_{0.45}\text{Fe}_2\text{O}_3$ // ФТТ, 2008, Том 50, в. 1, сс. 46-49.
7. Ю.Н.Михайлов, В.А.Казанцев. Магнитное состояние, упругие постоянные и длинноволновые статические смещения атомов в  $\gamma\text{-FeNi}$  сплавах.// Кристаллография, 2008, Том 53, № 1, С. 13-17.
8. O. Rapp, A.A.Karkin, B.N.Goshchitskii, V.I.Voronin, V.Srinivas and S.J.Poon//Electronic and atomic disorder in icosahedral AlPdRe// J. Phys.: Condens. Matter, 2008, Vol.20, № 11, pp.114120-114125.
9. В.Л.Кожевников, О.Н.Леонидова, А.Л.Ивановский, И.Р.Шейн, Б.Н.Гощицкий, А.Е.Карькин. Новый сверхпроводник со слоистой кристаллической структурой: оксивисмутид никеля  $\text{LaNiO}_{1-\delta}\text{Bi}$ // Письма в ЖЭТФ, 2008, Том 87, с. 747-750 .
10. В.И.Воронин, И.Ф.Бергер, Н.В.Проскурнина, Д.В.Шептяков, Б.Н.Гощицкий, Е.И.Бурмакин, С.С.Строев, Г.Ш.Шехтман, Кристаллическая структура низкотемпературной модификации ортофосфатов цезия и рубидия// Неорганические материалы, 2008, Том 44, в. 6, с. 740–746.
11. D.P.Kozlenko, L.S.Dubrovinsky, B.N.Savenko, V.I.Voronin, E.A.Kiselev, N.V.Proskurnina. Pressure-induced suppression of Wigner-crystal antiferromagnetic state in  $\text{La}_{0.33}\text{Ca}_{0.67}\text{MnO}_3$

//Phys. Rev. B, 2008 Vol. 77, 104444.

12. A.E.Karkin, V.I.Voronin, I.F.Berger, V.A.Kazantsev, Yu.S.Ponosov, V.G.Ralchenko, V.I.Konov, B.N.Goshchitskii. Neutron irradiation effects in chemical-vapor-deposited diamond// Phys. Rev. B, 2008, Vol. 78, No.3, 033204.
13. Ю.Г.Чукалкин, А.Е.Теплых, А.Г.Кучин. Магнетизм интерметаллида  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$  в кристаллическом и аморфном состояниях// ФММ, 2008. Том 106, в. 6, сс. 1-11.
14. S.Lee, A.Pirogov, M.Kang, K.-H.Jang, M.Yonemura, T.Kamiyama, S.-W.Cheong, F.Gozzo, N.Shin, H.Kimura, Y.Noda and J.-G.Park. Giant magneto-elastic coupling in multiferroic hexagonal manganites// Nature, 2008/ Vol. 451, p 805-809.
15. E. S. Kuzmin, V. A. Drozdov, V. V. Zhuk, S. S. Semikh, I. F. Berger, V. I. Voronin, B. N. Goshchitskii, S. A. Kuten, A. A. Khrushchinskii. A Raster Thermal-Neutron Scintillation Multidetector of Modular Type// Instruments and Experimental Techniques, 2008, Vol. 51, No. 5. pp. 639–646.

#### **Доклады:**

1. H.Lee, A.N.Pirogov, Y.N.Choi. Magnetic phase transition and magnetic structure of  $(\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x})_3\text{V}_2\text{O}_8$ // Abstracts, HANARO Symposium, Korean Atomic Energy Research Institute, Taejon, Korea, 2008, p. 74-75.
2. A.G.Kuchin, Yu.V.Knyazev, Yu.I.Kuz'min, I.A.Nekrasov, V.I.Anisimov, N.I.Kourov, IV.Medvedeva, V.I.Voronin. Role of electronic band structure and lattice volume in magnetism of  $\text{R}_2(\text{Fe},\text{M})_{17}$ ,  $\text{M} = \text{Si, Al}$  compounds// Moscow International Symposium on Magnetism (MISM-2008), Moscow, June 2008.
3. В.И.Воронин, Н.В.Проскурнина, Г.Ш.Шехтман, Е.И.Бурмакин. Использование рассеяния нейтронов для изучения свойств, кристаллографических особенностей и механизмов формирования суперионного состояния// 9-е Международное совещание «Фундаментальные проблемы ионики твердого тела», Черногловка, 24-27 июня 2008, с. 66.
4. Н.В.Проскурнина, Г.Ш.Шехтман, Е.И.Бурмакин, В.И.Воронин. Высокотемпературная нейтронография квазитройных супериоников  $\text{Cs}_{1-x}\text{Ba}_x\text{PO}_4$ // 9-е Международное совещание «Фундаментальные проблемы ионики твердого тела», Черногловка, 24-27 июня 2008, с. 67.
5. Б.Н.Гощицкий, В.В.Федоренко, А.Е.Карькин. Транспортные свойства в монокристаллах  $\text{Cu}_x\text{TiSe}_2$ // 3-я Международная конференция «Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости» (ФПС'08), 13-17 октября 2008г.
6. В.Л.Кожевников, О.Н.Леонидова, А.Л.Ивановский, И.Р.Шейн, Б.Н.Гощицкий,

- А.Е.Карькин. Новый сверхпроводник со слоистой кристаллической структурой: оксивисмутид никеля  $\text{LaNiO}_{1-\delta}\text{Bi}$ // 3-я Международная конференция «Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости» (ФПС'08), 13-17 октября 2008 г.
7. В.И.Бобровский, В.И.Воронин, И.Ф.Бергер. Об учете пространственных эффектов при описании разрешения порошковых нейтронных дифрактометров// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  8. С.Г.Богданов, Э.З.Валиев, А.Н.Пирогов, Ю.Н.Скрябин, А.Е.Теплых, А.С.Назаров, М.Г.Макотченко, В.Е.Федоров. Атомная и субатомная структура нанокompозитов расширенных графит – железо// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  9. Э.З.Валиев. Магнитотепловые явления и энтропия в ферромагнетиках с ФП 1 и 2 рода// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  10. Э.З.Валиев, В.И.Воронин. Исследование кристаллической и магнитной структуры соединения  $\text{Er}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_{2.18}$  в широком температурном интервале ( $4.2 < T < 750$  К)// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  11. В.И.Воронин, И.Ф.Бергер, Н.В.Проскурнина, А.Е.Карькин, А.Г.Кучин. Радиационное разупорядочение как метод формирования новых структурных и магнитных состояний в интерметаллидах  $\text{R}_2\text{Fe}_{17}$ // XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  12. И.Ф.Бергер, В.И.Воронин, Е.И.Шредер. Нейтроно- и рентгенографическое исследование степени порядка в сплавах Гейслера  $\text{Co}_2\text{CrAl}$  и  $\text{Fe}_2\text{MnAl}$ // XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  13. А.П.Вохмянин. Симметричный анализ магнитных структур сплавов квазибинарной системы  $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{Sn}_2$ // XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  14. Ю.А.Дорофеев, Е.Г.Герасимов, А.Н.Пирогов. Магнитная структура и свойства соединений  $\text{La}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Mn}_2\text{Si}_2$  и  $\text{La}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Mn}_2\text{Si}_2$ // XX совещание по использованию

- рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
15. С.Ф.Дубинин, А.В.Королев, С.Г.Теплоухов, В.Е.Архипов, Э.А.Нейфельд, В.Д.Пархоменко, Н.А.Угрюмова. Фазовое расслоение в кристалле  $\text{La}_{0.95}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$ // XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  16. С.Ф.Дубинин, В.И.Соколов, А.В.Королев, С.Г.Теплоухов, Ю.Г.Чукалкин, В.Д.Пархоменко, Н.Б.Груздев. Магнитное состояние массивного кристалла  $\text{Zn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Se}$  ( $x=0.045$ )// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  17. Ю.Н.Михайлов, В.А.Казанцев. Влияние нейтронного облучения на длинноволновые магнитные возбуждения в  $\text{Zn}_{0.60}\text{Ni}_{0.40}\text{Fe}_2\text{O}_4$ -феррите// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  18. В.Д.Пархоменко, С.Ф.Дубинин, С.Г.Теплоухов. Влияние химического состава на аморфизацию быстрыми нейтронами сплавов на основе никелида титана// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  19. А.Н. Пирогов, С.Г.Богданов, Ю.Н.Скрябин, В. А.Казанцев, А.С.Ермоленко, А.Г.Кучин, Дж.-Г.Пак, Ю.Н.Чой, В.В.Сиколенко, И.П.Свейнсон. Соединения  $\text{Tb}_x\text{Er}_{1-x}\text{Ni}_5$  - идеальная модельная система с конкурирующими Изинг - XY анизотропиями// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  20. С.Г.Теплоухов, С.Ф.Дубинин, В.И.Соколов, В.Д.Пархоменко, Н.Б.Груздев. Особенности структурного и магнитного состояния кристалла  $\text{Zn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Se}$  ( $x=0.025$ ) в области низких температур// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
  21. А.Е.Теплых, С.Г.Богданов, Э.З.Валиев, А.Н.Пирогов, Ю.Н.Скрябин, В.Г.Макотченко, А.С.Назаров, В.Е.Федоров. Кристаллическая структура композитов на основе расширенного графита// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.

22. А.Е.Теплых, А.Н.Пирогов, А.Г.Кучин. Магнитная структура интерметаллических соединений  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17-x}\text{Mn}_x$ // XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
23. Ю.Г.Чукалкин, В.М.Колосков, А.Е.Теплых, С.Г.Богданов. Закономерности превращения кристалл - аморфное твердое тело при воздействии быстрых нейтронов// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
24. Ю.Г.Чукалкин, А.Е.Теплых, Д.Г.Келлерман. Эффекты структурного разупорядочения в окисных манганитах и титанатах лития// XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.
25. Ю.Г.Чукалкин, А.Е.Теплых, А.Г.Кучин. Магнетизм аморфного интерметаллида  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$ // XX совещание по использованию рассеяния нейтронов в исследованиях конденсированного состояния (РНИКС-2008), Гатчина, 13-19 октября 2008}.

**Информация по п. 9.3 Технического задания**  
(по состоянию на 31.10.08 – завершение работ по этапу № 4)

**1. Перечень организаций-пользователей научного оборудования УСУ** за последние 3 года и за 2008 год с указанием количества их обращений и характера использования оборудования УСУ (под обращениями имеются в виду конкретные научные исследования), в том числе перечень сторонних пользователей УСУ:

**за последние 3 года:**

- Институт химии твердого тела УрО РАН – 22
- Институт металлургии УрО РАН - 4
- Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН - 9
- Институт неорганической химии СО РАН - 9
- Уральский государственный университет - 10
- РФЯЦ-Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики - 4
- Белоярская атомная станция – 4
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН - 2
- Институт реакторных материалов Росатома – 13
- Институт физики металлов УрО РАН – 8
- Институт электрофизики УрО РАН – 3
- Петербургский институт ядерной физики РАН – 4
- Объединенный Институт Ядерных Исследований - 2

**за 2008 год:**

- Ин-т химии твердого тела УрО РАН -2
- Ин-т металлургии УрО РАН - 2
- Ин-т высокотемпературной электрохимии УрО РАН – 2
- Ин-т неорганической химии СО РАН - 1
- Уральский Госуниверситет - 2
- Российский федеральный ядерный центр-ВНИИТФ - 1
- Белоярская атомная станция - 2
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН - 1
- Институт физики металлов УрО РАН - 5
- Институт реакторных материалов Росатома - 4
- Объединенный Институт Ядерных Исследований - 3

Характер обращений – нейтронографические исследования кристаллической и магнитной структур и фазового состава сплавов и соединений, облучение материалов и изделий быстрыми нейтронами.

**2. Обновление парка научного оборудования** (по данным бухгалтерского учета):  
- 5.2% процентов к уровню 2007 г. (Рассчитывается как процентное отношение стоимости приобретенного оборудования в 2008 году за счет средств ФЦП к стоимости оборудования УСУ, состоящего на балансе на 1 января 2008 года).

**3. Количество научных публикаций**, подготовленных по результатам исследований с

использованием УСУ за последние 3 года и за 2008 год:

0, 0 - монографии;

53, 10 - статьи во всероссийских изданиях;

33, 5 - статьи в зарубежных изданиях;

89, 25 - доклады.

#### 4. Перечень наиболее значимых публикаций за последние 3 года и за 2008 год.

##### за последние 3 года:

1. S.Lee, A.A.Podlesnyak, K.Prokes, E.V.Sikolenko, A.S.Ermolenko, E.G.Gerasimov, Yu.A.Dorofeev, A.P.Vokhmyanin, J.-G.Park, A.N.Pirogov. Magnetic phase transitions in TbNi<sub>5</sub> single crystal: Bulk properties and neutron diffraction studies// Письма в ЖЭТФ, 2005, том 82, №. 1, с. 34-38.
2. А.Е.Карькин, С.В.Наумов, Б.Н.Гощицкий, А.М.Балбашов. Гальваномагнитные свойства атомно-разупорядоченного монокристалла Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>// ЖЭТФ, 2005, том 127, №. 6, с. 1297-1309.
3. С.Ф.Дубинин, Н.Н.Лошкарева, С.Г.Теплоухов, Ю.П.Сухоруков, А.М.Балбашов, В.Е.Архипов, В.Д.Пархоменко. Упорядочение кислородных вакансий в монокристалле перовскита CaMnO<sub>3-δ</sub>// ФТТ, 2005, том 47, №. 7, с. 1226-1231.
4. В.И.Соколов, С.Ф.Дубинин, С.Г.Теплоухов, В.Д.Пархоменко, Н.Б.Груздев. Нестабильность решетки, вызванная 3d-примесями в полупроводниках II-VI// ФТТ, 2005, том 47, №. 8, с. 1494-1497.
5. Н.О.Голосова, Д.П.Козленко, В.И.Воронин, В.П.Глазков, Б.Н.Савенко. Влияние высокого давления на кристаллическую и магнитную структуры кобальтита La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>CoO<sub>3</sub>// ФТТ, 2006, том 48, №. 1, с. 90-94.
6. А.Е. Карькин, Б.Н. Гощицкий. Особенности электронных состояний соединений с сильными электронными корреляциями: исследование методом радиационного разупорядочения// Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2006, том 37, №. 6, с. 1-44.
7. С.Ф.Дубинин, Ю.Г.Чукалкин, С.Г.Теплоухов, В.Е.Архипов, В.Д.Пархоменко, Я.М.Муковский. Дефекты и структура кристалла манганита La<sub>0.85</sub>Sr<sub>0.15</sub>MnO<sub>3</sub>// ФТТ, 2006, том 48, № 10, с. 1805-1811.
8. С.Ф.Дубинин, В.И.Соколов, С.Г.Теплоухов, В.Д.Пархоменко, Н.Б.Груздев. Неоднородные искажения в кристалле Zn<sub>1-x</sub>Cr<sub>x</sub>Se// ФТТ, 2006, том 48, № 12, с. 2151-2156.
9. Ю.Г.Чукалкин, А.Е.Теплых. Структура и магнетизм дефектного манганита LaMnO<sub>3</sub>// ФТТ, 2006, том 48, № 12, с. 2181-2189.
10. N.V.Baranov, A.A.Ermakov, A.N.Pirogov, A.V.Proshkin, S.N.Gvasaliya, A.Podlesnyak. Irreversibility of the magnetic state of the Tm<sub>1-x</sub>Tb<sub>x</sub>Co<sub>2</sub> revealed by specific heat, electrical resistivity, and neutron diffraction measurements// Phys. Rev. B. 2006, vol. 73, p. 104445-1-11.
11. Ye.V.Shcherbakova, Yu.F.Dorofeev, A.N.Pirogov, Ye.G.Gerasimov, N.V.Mushnikov. Magnetic structure and properties of LaFe<sub>13-x</sub>Ga<sub>x</sub>C compounds (x=2.9, 6.5)// JMMM, 2006, vol. 302, No1, p.165-172.
12. С. Ф. Дубинин, В. И. Соколов, С. Г. Теплоухов, В. Д. Пархоменко, В. В. Гудков, А. Т. Лончаков, И. В. Жестовских, Н. Б. Груздев. Наноразмерные деформации решетки в кристалле ZnSe, легированном 3d-элементами// ФТТ, 2007, том 49, в. 7, с. 1177-1182.
13. Е. А. Шерстобитова, А. Ф. Губкин, А. В. Захаров, А. Е. Теплых, А. А. Подлесняк, С. Н. Гвасалия, Д.-Г. Парк, Н. В. Баранов, А. Н. Пирогов. Нейтронографическое исследование метамагнитного перехода в Tb<sub>0.1</sub>Tm<sub>0.9</sub>Co<sub>2</sub>// ФТТ, 2007, том 49, в. 7, с. 1246-1250.



14. А. П. Вохмянин, Ю. А. Дорофеев, А. И. Курбаков, А. Н. Пирогов, Ю. Н. Скрябин. Магнитная структура  $\text{Er}_5\text{Si}_3$  при  $T < 20 \text{ K}$ // Кристаллография, 2007, том 52, в. 3, с. 454-457.
15. Е. А. Шерстобитова, К. А. Козлов, А. Е. Теплых, Ю. А. Дорофеев, Ю. Н. Скрябин, А. Н. Пирогов. Зонный метамагнитный переход в соединениях  $\text{Tb}_x\text{Nd}_{1-x}\text{Co}_2$ // Кристаллография, 2007, том 52, в. 3, с. 458-461.
16. A. V. Skripov, A. L. Buzlukov, A. V. Soloninin, V. I. Voronin, I. F. Berger, T. J. Udovic, Q. Huang, J. J. Rush. Hydrogen motion and site occupation in  $\text{Ti}_2\text{CoH}_x(\text{D}_x)$ : NMR and neutron scattering studies// Physica B 392, 2007, pp. 353-360.
17. D. P. Kozlenko, L. S. Dubrovinsky, I. N. Goncharenko, B. N. Savenko, V. I. Voronin, E. A. Kiselev, N. V. Proskurnina. Pressure-induced monoclinic distortion and charge and orbital ordering in  $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ // Phys. Rev. B, 2007, v. 75, 104408.
18. N. V. Baranov, A. F. Gubkin, A. P. Vokhmyanin, A. N. Pirogov, A. Podlesnyak, L. Keller, N. V. Mushnikov, M. I. Bartashevich. High-field magnetization and magnetic structure of  $\text{Tb}_3\text{Co}$ // J. Phys.: Condens. Matter, 2007, v. 19, 326213 (14 pp).
19. В. И. Бобровский, И. Л. Ждахин. Функция разрешения нейтронных дифрактометров с фокусирующими монохроматорами. I. Общие формулы// Поверхность, 2007, No 7, с. 72-78.
20. В. И. Бобровский, И. Л. Ждахин. Функция разрешения нейтронных дифрактометров с фокусирующим монохроматором. II. Вертикальная фокусировка// Поверхность, 2007, No 8, с. 42-49.
21. В. И. Бобровский, И. Л. Ждахин. Функция разрешения нейтронных дифрактометров с фокусирующим монохроматором. III. Горизонтальная фокусировка// Поверхность, 2007, No 12, с. 5-12.
22. Yurii Chukalkin, Alexander Teplykh, Boris Goshchitskii. Destruction of manganite  $\text{La}_{0.825}\text{Ba}_{0.175}\text{MnO}_3$  ferromagnetism caused by structural disordering// Phys. stat. sol. (RRL), № 1, (2007), P19-P21

#### за 2008 год:

1. С.Ф.Дубинин, А.В.Королев, С.Г.Теплоухов, В.Е.Архипов, Э.А.Нейфельд, В.Д.Пархоменко, Н.А.Угрюмова. Электронное фазовое расслоение в кристалле манганита  $\text{La}_{0.95}\text{Ba}_{0.05}\text{MnO}_3$ //ФТТ, 2008, т. 50, в. 1, сс. 69-76.
2. С.Ф.Дубинин, В.И.Соколов, А.В.Королев, С.Г.Теплоухов, Ю.Г.Чукалкин, В.Д.Пархоменко, Н.Б.Груздев. Магнитное состояние массивного кристалла  $\text{Zn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Se}$ //ФТТ, 2008. т. 50, в. 6, сс. 1042-1045.
3. В.И.Соколов, С.Ф.Дубинин, В.В.Гудков, А.Т.Лончаков. Неустойчивость решетки кристалла селенида цинка, индуцированная 3d-примесями// ФТТ, 2008, т. 50, в. 6, с. 1703-1706.
4. В.Д.Пархоменко, С.Ф.Дубинин, С.Г.Теплоухов. Влияние химического состава на аморфизацию быстрыми нейтронами сплавов на основе никелида титана// ФТТ, 2008, т. 50, в. 10, сс. 1733-1740.
5. С.Ф.Дубинин, В.И.Соколов, В.Д.Пархоменко, С.Г.Теплоухов, Н.Б.Груздев. Особенности структурного и магнитного состояния кристалла  $\text{Zn}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Se}$  ( $x=0.0025$ ) в области низких температур// ФТТ, 2008, т. 50, в. 12, сс. 2188-2191.
6. Ю.Н.Михайлов, В.А.Казанцев. Длинноволновые магнитные возбуждения в  $\text{Zn}_{0.55}\text{Mn}_{0.45}\text{Fe}_2\text{O}_3$ // ФТТ, 2008, т. 50, в. 1, сс. 46-49.
7. Ю.Н.Михайлов, В.А.Казанцев. Магнитное состояние, упругие постоянные и длинноволновые статические смещения атомов в  $\gamma\text{-FeNi}$  сплавах// Кристаллография, 2008, Т. 53, № 1, С. 13-17.
8. O. Rapp, A.A.Karkin, B.N.Goshchitskii, V.I.Voronin, V.Srinivas and S.J.Poon//Electronic and atomic disorder in icosahedral  $\text{AlPdRe}$ // J. Phys.: Condens. Matter, 2008, v.20, № 11, pp.114120-114125.

9. В.Л.Кожевников, О.Н.Леонидова, А.Л.Ивановский, И.Р.Шеин, Б.Н.Гощицкий, А.Е.Карькин. Новый сверхпроводник со слоистой кристаллической структурой: оксивисмутид никеля  $\text{LaNiO}_{1-\delta}\text{Bi}$ // Письма в ЖЭТФ, 2008, т. 87, с. 747-750 .
10. В.И.Воронин, И.Ф.Бергер, Н.В.Проскурнина, Д.В.Шептяков, Б.Н.Гощицкий, Е.И.Бурмакин, С.С.Строев, Г.Ш.Шехтман, Кристаллическая структура низкотемпературной модификации ортофосфатов цезия и рубидия// Неорганические материалы, 2008 т. 44, в. 6, с. 740–746.
11. D.P.Kozlenko, L.S.Dubrovinsky, B.N.Savenko, V.I.Voronin, E.A.Kiselev, N.V.Proskurnina. Pressure-induced suppression of Wigner-crystal antiferromagnetic state in  $\text{La}_{0.33}\text{Ca}_{0.67}\text{MnO}_3$  //Phys. Rev. B, 2008 vol. 77, 104444.
12. А.Е.Каркин, В.И.Воронин, И.Ф.Бергер, В.А.Казантсев, Ю.С.Пonosov, V.G.Ralchenko, V.I.Konov, B.N.Goshchitskii. Neutron irradiation effects in chemical-vapor-deposited diamond// Phys. Rev. B, 2008, vol. 78, No.3, 033204.
13. Ю.Г.Чукалкин, А.Е.Теплых, А.Г.Кучин. Магнетизм интерметаллида  $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17}$  в кристаллическом и аморфном состояниях// ФММ, 2008. т. 106, в. 6, сс. 1-11.
14. S.Lee, A.Pirogov, M.Kang, K.-H.Jang, M.Yonemura, T.Kamiyama, S.-W.Cheong, F.Gozzo, N.Shin, H.Kimura, Y.Noda and J.-G.Park. Giant magneto-elastic coupling in multiferroic hexagonal manganites// Nature, 2008/ vol. 451, p 805-809.
15. E. S. Kuzmin, V. A. Drozdov, V. V. Zhuk, S. S. Semikh, I. F. Berger, V. I. Voronin, B. N. Goshchitskii, S. A. Kuten, A. A. Khrushchinskii. A Raster Thermal-Neutron Scintillation Multidetector of Modular Type// Instruments and Experimental Techniques, 2008, Vol. 51, No. 5. pp. 639–646.

#### 5. Перечень научных работ, подготовленных к опубликованию в 2008 году:

- монографии:

нет;

- статьи во всероссийских изданиях:

1. А.Л.Бузлуков, А.В.Солонинин, А.В.Скрипов, Е.Ю.Медведев, В.И.Воронин, И.Ф.Бергер.Позиции и подвижность атомов водорода в  $\text{Hf}_2\text{CoH}_x(\text{D}_x)$  со структурой типа  $\text{Ti}_2\text{Ni}$ : исследование методами ЯМР и дифракции нейтронов.
2. Е.А.Киселев, Н.В.Проскурнина, В.И.Воронин, В.А.Черепанов. Фазовые равновесия и кристаллическая структура фаз в системе Sr-Fe-Ni-O при 1100 С на воздухе.
3. В. И. Бобровский. Об учете пространственных эффектов при описании разрешения порошкового нейтронного дифрактометра с плоским монохроматором.
4. В. И. Бобровский. Описание интегральной интенсивности брэгговских пиков в порошковых нейтронных дифрактометрах с учетом пространственных эффектов.
5. В. И. Бобровский. Об искажениях формы линии брэгговских пиков в порошковом нейтронном дифрактометре.;

- статьи в зарубежных изданиях:

1. N.V.Kudrevatykh, S.V.Andreev, A.N.Bogatkin, S.G.Bogdanov, A.I.Kozlov, P.E.Markin, O.A.Milyaev, A.N.Pirogov, V.G.Pushin, A.E.Teplykh. Structural state and magnetic properties of  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -type rapidly quenched alloys.

- доклады:

В процессе подготовки 9 докладов на международные и российские конференции.

#### 6. Перечни подготовленных и защищенных с использованием научного оборудования УСУ за последние 3 года и за 2008 год:

- дипломных работ:

за последние 3 года:

- О.Г. Микушина. Определение размера неоднородностей в соединениях  $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  и стали ЧС-68 методом малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов.
- А.Ф. Губкин. Магнитные фазовые переходы в интерметаллических соединениях

R<sub>3</sub>Co.

- А.С. Кривошеков. Гальваномагнитные свойства и структурное состояние соединений с тяжелыми фермионами CeCu<sub>6</sub>, CeCu<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>, CeNi<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> и CePd<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>, разупорядоченных с помощью нейтронного облучения.
- П.А. Теплых. Нейтронографический контроль кристаллической структуры и магнитного состояния интерметаллических соединений (Dy<sub>1-x</sub>Y<sub>x</sub>)<sub>3</sub>Co “.
- А.В. Береснев. Нейтронографическое определение магнитной структуры соединений .
- И.В. Проскурин. Примесь в магнитном окружении. Модель Бозе-Кондо.
- Д.Ю. Устюгов. Квантовое туннелирование субомической диссипационной двухуровневой системы.

**за 2008 год:**

1. Т.С.Немытова. Магнитные свойства и кристаллическая структура ZrMnCo<sub>2</sub> соединения.

- кандидатских диссертаций:

**за последние 3 года:**

- Н.В.Проскурнина. “Фазовые равновесия, кристаллическая структура и кислородная нестехиометрия сложных оксидов в системах La-M-M'-O (M, M'=Fe, Co, Ni)”.

**за 2008 год:**

- Е.А.Шерстобитова. “Нейтроннографическое исследование редкоземельных интерметаллидов на основе RCo<sub>2</sub> фаз Лавеса”.

- докторских диссертаций:

**за последние 3 года:**

- А.Е.Карькин. “Особенности электронных состояний соединений с сильными электронными корреляциями: исследование методом радиационного разупорядочения”.

**за 2008 год:**

нет

**7. Количество привлеченных для выполнения научных исследований на УСУ:**

**за последние 3 года:**

- 2 - аспирантов;
- 5 - студентов;

**за 2008 год:**

- 0 - аспирантов;
- 1 - студентов;

**8. Количество научных конференций за последние 3 года и за 2008 год, в работе которых приняли участие специалисты УСУ, в том числе международных.**

- 48 (38 международных) - за последние 3 года,
- 3(2 международных) - за 2008 год.

**9. Признание научной значимости результатов, полученных на УСУ в виде**

государственных и международных премий, наград выставок и др. за последние 3 года и за 2008 год.

нет

**10. Перечень аттестованных методик измерений, а также перечень усовершенствованных и разработанных методик измерений на УСУ:**

*Методики выполнения измерений (МВИ):*

Экспериментальные установки, используемые при работе УСУ (нейтронные дифрактометры)

аттестованы и периодически проверяются по характеристикам погрешности (калибруются) метрологической службой ИФМ УрО РАН в соответствии с планом МО НИР, принятым в институте и полностью соответствуют требованиям, сформулированным в ГОСТ 7.32-2001. Средства измерения, входящие в установки, также калибруются метрологической службой в соответствии с графиком калибровки СИ. Метрологическая служба ИФМ УрО РАН аккредитована на право калибровки средств измерений (реестр № 054032).

Кристаллические и магнитные структуры анализируются путем обработки нейтронограмм и рентгенограмм с помощью пакетов “Fulprof”, “DBWS”, являющихся стандартным средством такого анализа во всем мире.

Метрологическая аттестация и периодический контроль характеристик погрешности (калибровка) нейтронных дифрактометров проводится с помощью сертифицированных эталонных образцов. МВИ прописаны в техническом описании и инструкции по эксплуатации на нейтронные дифрактометры.

Исследования свойств облученных материалов на установке HFSS фирмы Oxford Instruments проводятся с использованием стандартных методик (МВИ) фирмы-изготовителя, прописанных в эксплуатационной документации, в диапазоне температур 0.3 К-400 К, магнитных полей до 15.5 Т и позволяют исследовать:

- электросопротивление и температуру сверхпроводящего перехода в температурном интервале (0.3-400.0) К в магнитных полях до 15 Т и давлениях до 20 кбар;
- электросопротивление высокорезистивных материалов в температурном интервале (4.2-100.0) К;
- величины критического тока в сверхпроводниках в диапазоне (0.3-400.0) К и магнитных полях до 15 Т;
- магнитную восприимчивость и эффект Холла при температурах (0.3-400.0) К;
- намагниченности в магнитных полях до 2 Т в температурном интервале (4.2-1000.0) К;
- АС-восприимчивость при температуре от 4.2 до 300.0 К;
- коэффициент линейного расширения в диапазоне температур (70-1500) К;
- удельную теплоемкость при температуре от 2.5 до 350 К;
- механические свойства образцов при температуре от 80 до 300 К.

*Усовершенствованные и разработанные методики измерений на УСУ:*

- Усовершенствованный метод малоуглового рассеяния поляризованных и неполяризованных нейтронов на нанокристаллических образцах
- Усовершенствованный метод разделения магнитного и ядерного вкладов в сечение рассеяния поляризованных нейтронов

**11. Адрес интернет-сайта УСУ (если имеется).**

нет

**12. Суммарное количество исследований (измерений), выполненных с использованием УСУ за последние 3 года и в 2008 году, в том числе в интересах сторонних организаций.** Ежегодно общее количество эксплуатационных дней реактора составляет 250 суток, в том числе:

внутреннее использование:	200 экспериментов/20000 часов,
национальное использование:	120 экспериментов/12000 часов,
международное использование:	40 экспериментов/4000 часов.

В среднем время на установках распределяется следующим образом (%):

долгосрочные проекты:	75%,
индивидуальные эксперименты:	20%,
срочные эксперименты:	5%.

**13. Объем средств федерального бюджета,** выделенных организации по виду расходов «государственная поддержка УСУ»:

2100 т.р., 2660 т.р., 3000 т.р.- за последние 3 года;

3200 т.р. - в 2008 году.

**14. Объем средств,** выделенных на поддержание и развитие УСУ из других источников финансирования:

1550 т.р., 1550 т.р., 1550 т.р.(УрО РАН) - за последние 3 года;

1800 т.р. (УрО РАН) - в 2008 году.

**15. Перечень оборудования,** приобретенного для УСУ за счет средств федерального бюджета, выделенных организации Минпромнауки России и Роснаукой за последние 3 года и за 2007 год в соответствии с приложением № 1 к ТЗ:

#### 2005 г.

-Электронная система накопления дифракционных спектров на нейтронном стресс-дифракто-метре (3-я очередь).

#### 2006 г.

-Механическая система перемещения стресс-сканера и позиционно чувствительного детектора нейтронов;

-Электронная система дистанционного управления и накопления информации для нейтронного дифрактометра Д-7а;

Высоковольтный источник питания (DF3, X-ray generator).

#### 2007 г.

-Двухступенчатый гелиевый криорефрижератор замкнутого цикла на импульсных трубках (SRP-082B-F70H производства компании «Sumitomo»).

#### 2008 г.

- Сухой гелиевый криостат шахтного типа;

- Контроллер температуры tStat310хс;

- Турбомолекулярная откачная станция TSH 071E DN 63 ISO-K (производства компании «Pfeiffer»).

**16. Структура затрат** из средств федерального бюджета на УСУ, выделенных организации по виду расходов «государственная поддержка УСУ» за последние 3 года и в 2008 году на:

- приобретение импортного оборудования, тыс. руб. – 1461.0/265.0;

- приобретение отечественного оборудования, тыс. руб. – 1208.0/660.0;

- модернизацию оборудования, тыс. руб. – 500.0/0.0;

- ремонт оборудования, тыс. руб. - 0.0/180.0.