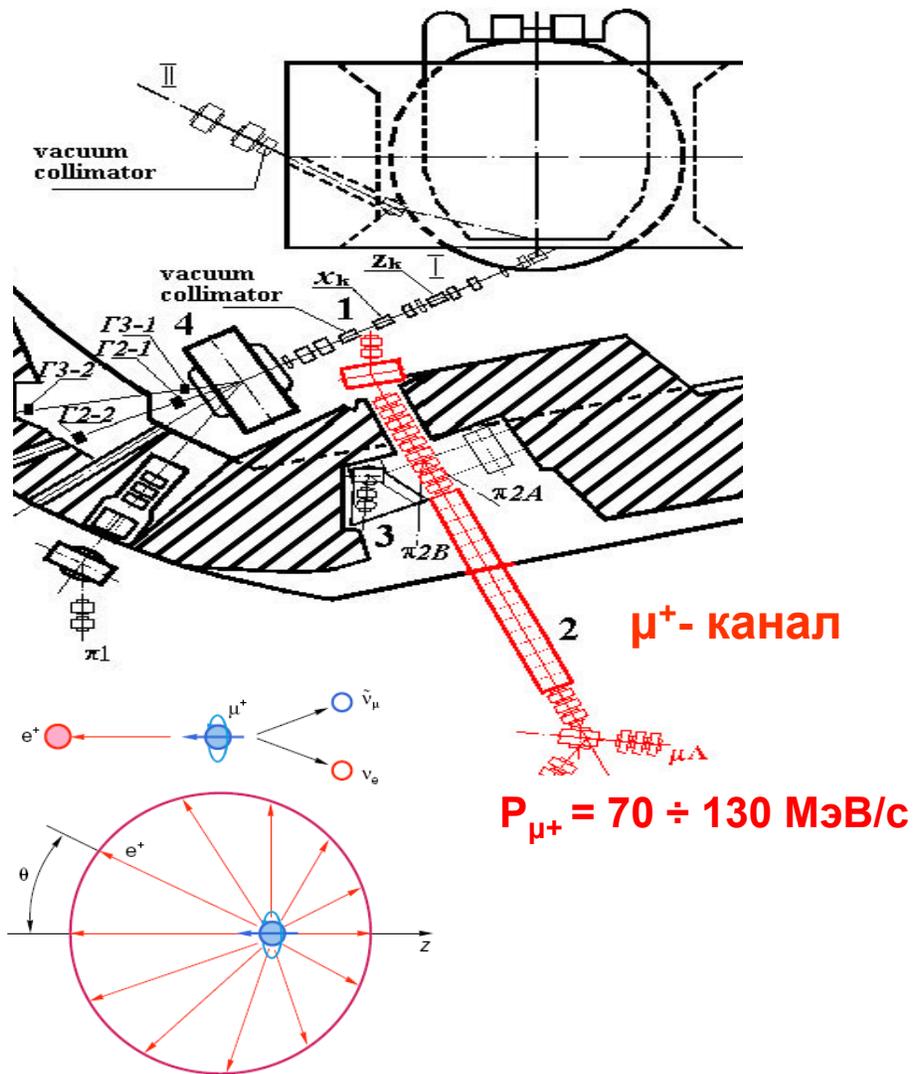
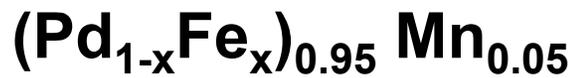


# $\mu$ SR-исследования в ПИЯФ РАН



# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ в 2009 году:

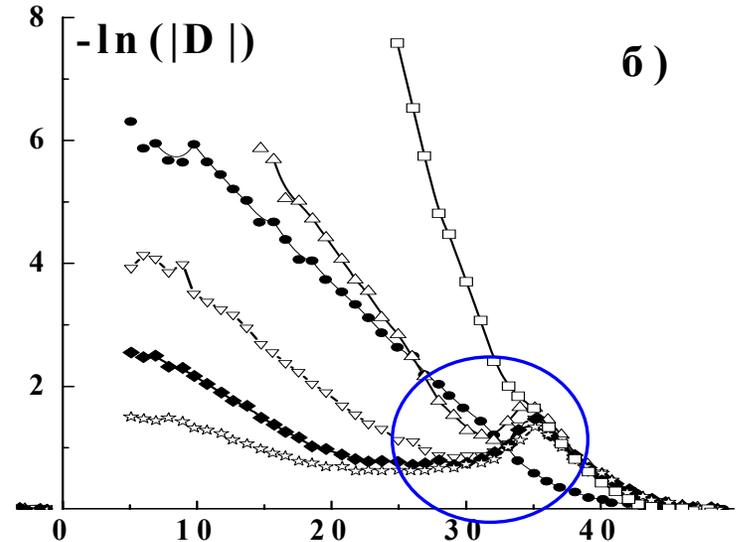
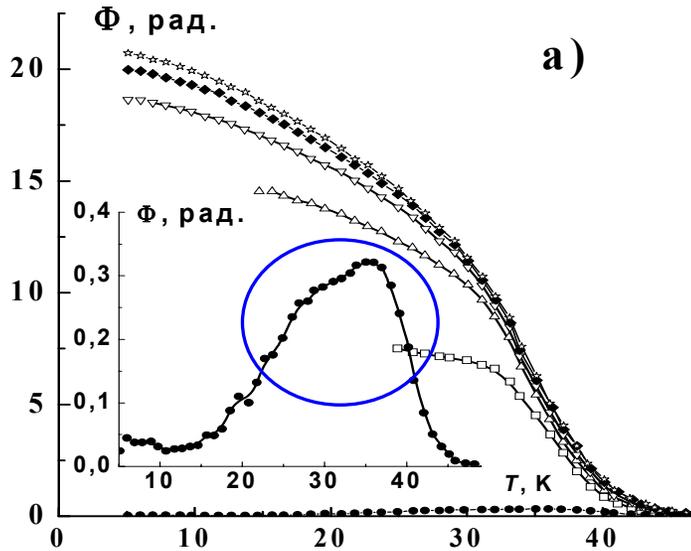
- I. Завершены исследования спин-стекольной фазы в сплавах  $(\text{Pd}_{1-x}\text{Fe}_x)_{0.95}\text{Mn}_{0.05}$  и  $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$ ;**  
(совместно с ОНИ ПИЯФ);
- II. Продолжались исследования магнитных фазовых переходов и распределения локальных магнитных полей в мультиферроиках:  $\text{RMnO}_3$ ;  $\text{RMn}_2\text{O}_5$ ;  $\text{R}_{(1-x)}\text{Ce}_x\text{Mn}_2\text{O}_5$ ;**  
(совместно с МИСиС (Москва) и ФТИ им.А.Ф. Иоффе (СПб));
- III. Исследование свойств феррожидкостей на основе наночастиц  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$ , диспергированных в органические или неорганические среды;**  
(совместно с ОИЯИ (Дубна),  
Национальный институт физики и ядерной технологии им. Х.Хулубея (Бухарест, Румыния),  
Центр фундаментальных и передовых технических исследований (Тимишоара, Румыния),  
Институт исследования и развития электротехники (Бухарест, Румыния));
- IV. Проведен первый цикл исследований магнитных свойств новых реакторных материалов (хромистых сталей FeCr, где содержание Cr-12%)**  
(совместно с НИЯУ МИФИ (Москва)).



## Нейтронные исследования показали:

Поведение средней намагниченности (угла поворота вектора поляризации) при охлаждении в H=0 имеет немонотонный характер

В слабых магнитных полях необычное немонотонное поведение нейтронной деполяризации



$T, K$     ●— ZFC    □— FC,  $H=5 \text{ Э}$     △— FC,  $H=10 \text{ Э}$      $T, K$   
           ▽— FC,  $H=15 \text{ Э}$     ◆— FC,  $H=20 \text{ Э}$     \*— FC,  $H=25 \text{ Э}$

В связи с этим возникают вопросы:

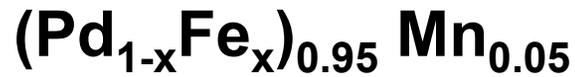
1. Чистый это ферромагнетик?
2. Меняются ли размеры доменов?

$D \sim (H)^2 \cdot d$  - из комбинации  
нейтроннографии и  $\mu\text{SR}$

$D$  - нейтронная деполяризация;

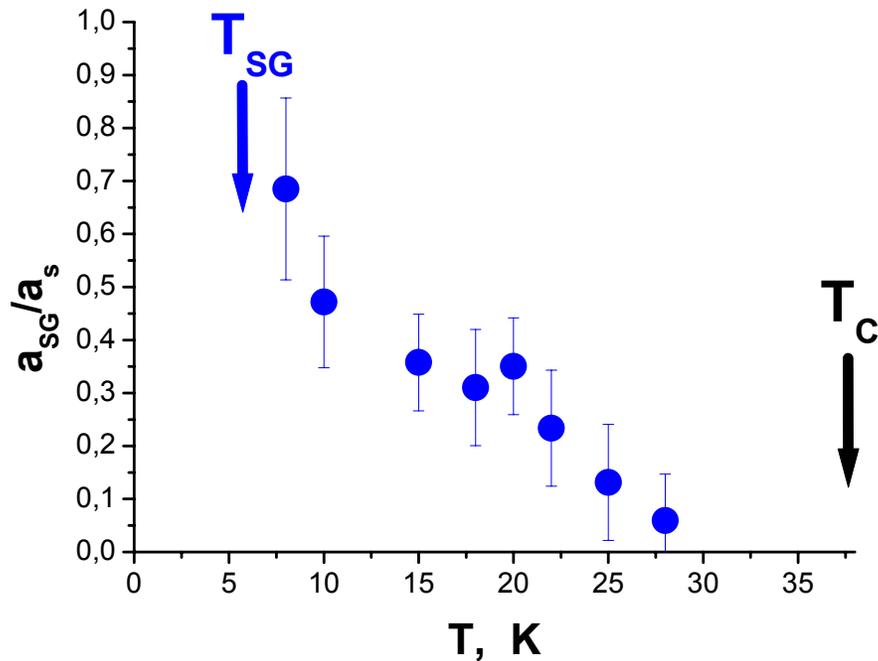
$H$  - локальная намагниченность ( $\mu\text{SR}$ );

$d$  - средний размер домена (или кластера).



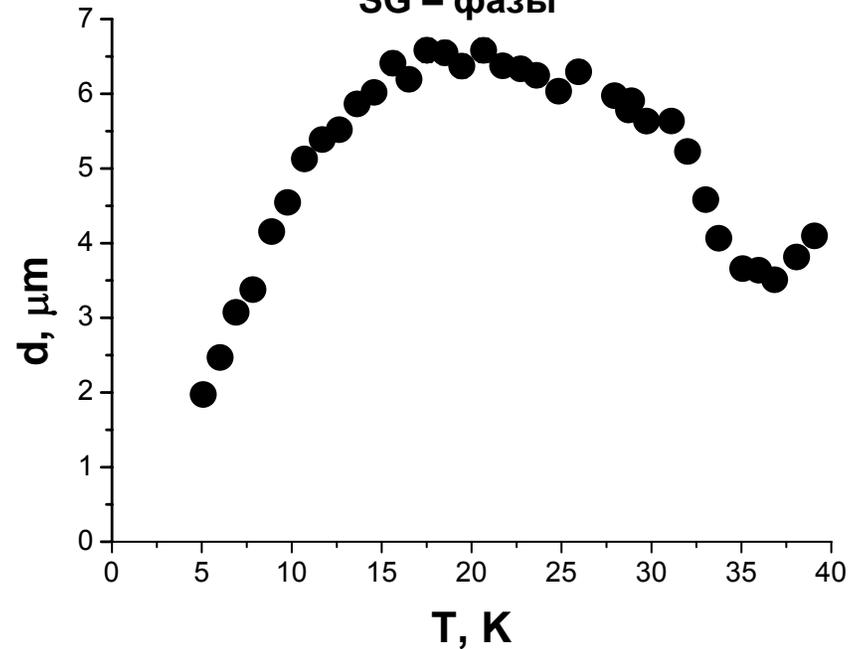
$\mu\text{SR}$ -исследования показали:

Не чистый ферромагнетик,  
происходит возникновение  
фазы спинового  
стекла в упорядоченном  
ферромагнетике

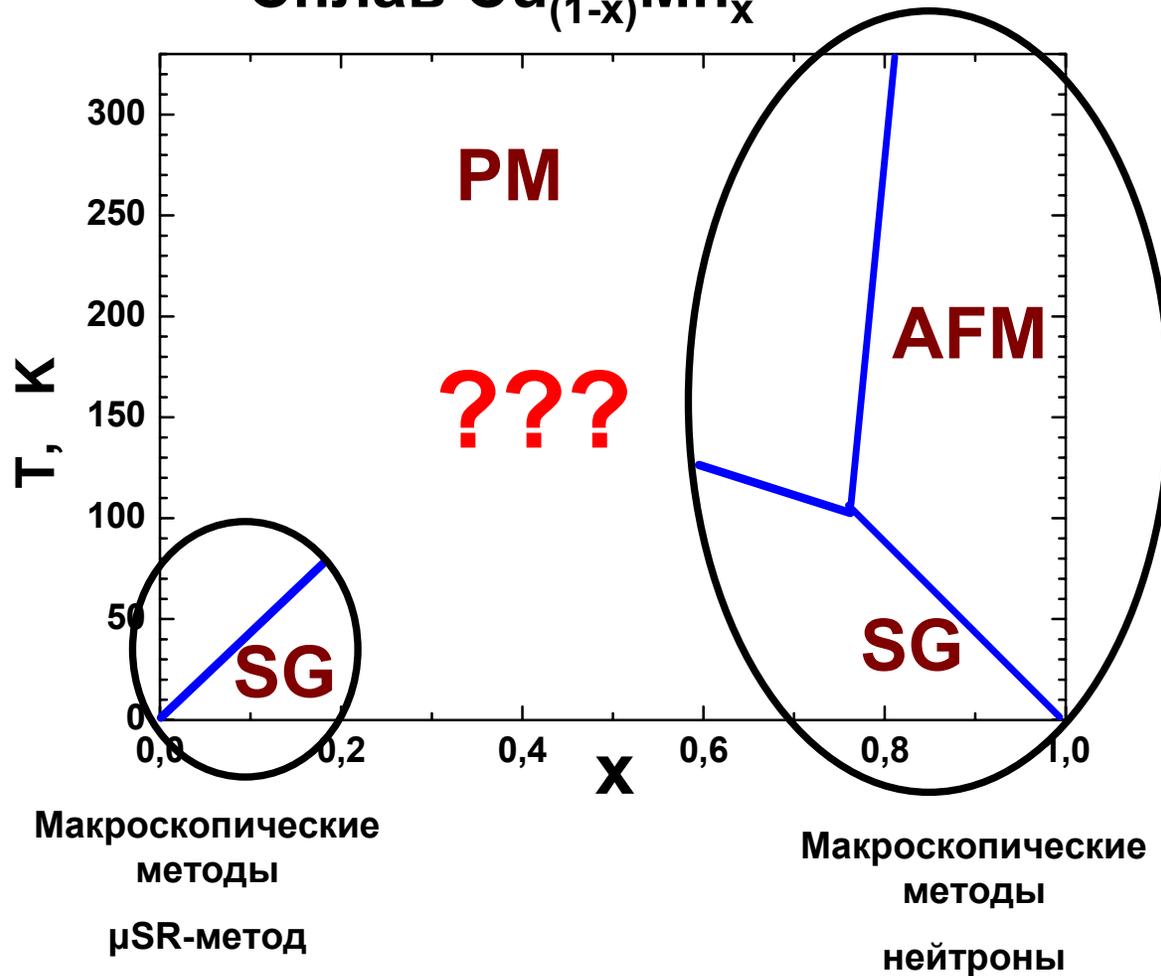


Совместно с данными о  
деполяризации нейтронов  
определен размер магнитных  
кластеров.

Видим резкое уменьшение  
размеров, из-за образования  
SG – фазы



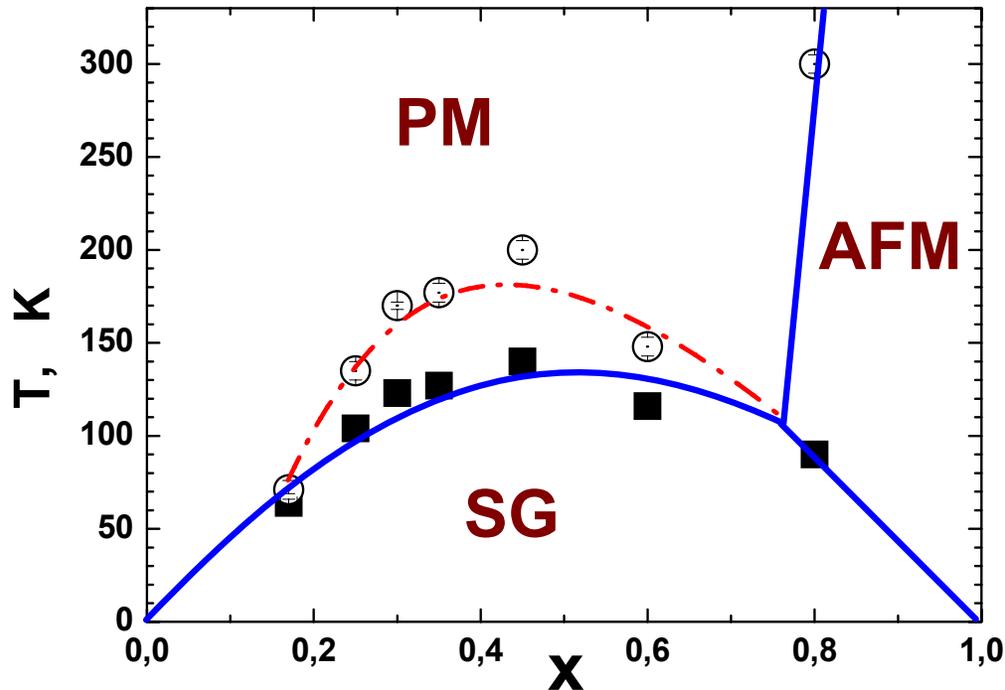
# Сплав $\text{Cu}_{(1-x)}\text{Mn}_x$



## Вопрос:

Что происходит с образцом  $\text{Cu}_{(1-x)}\text{Mn}_x$  при концентрациях  $0.2 < x < 0.6$ ?

# Сплав $\text{Cu}_{(1-x)}\text{Mn}_x$

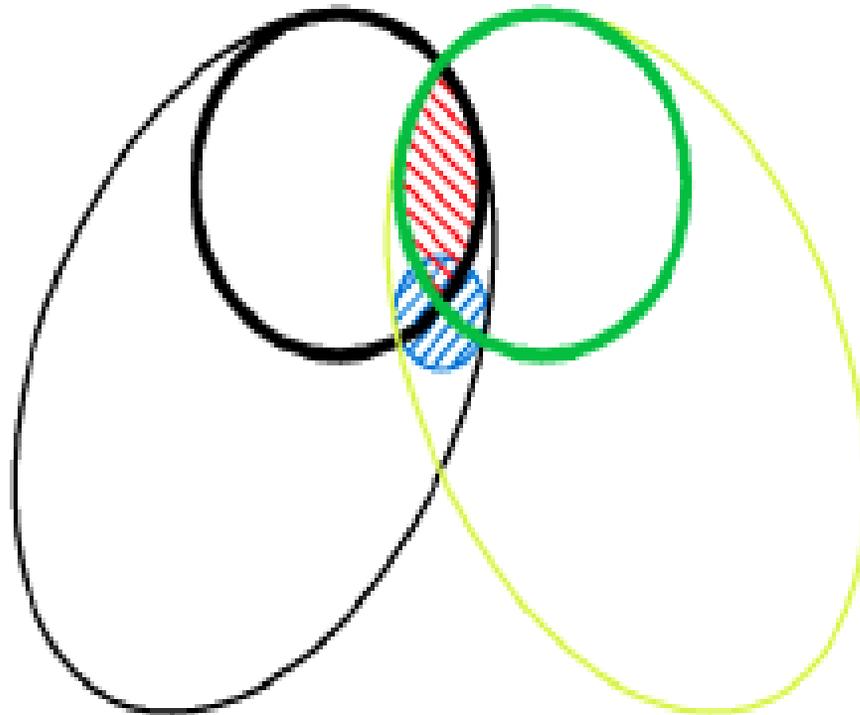


Фазовая диаграмма гомогенных  
медно-марганцевых сплавов  $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$

$\mu\text{SR}$ -исследования показали:

1. В области концентраций  $0 < x < 0.2$   
PM  $\rightarrow$  SG,
2. В области концентраций  $0.8 < x < 1$   
AFM  $\rightarrow$  SG,
3. Впервые показано в области  
концентраций  $0.2 < x < 0.6$   
магнитному фазовому переходу  
в состояние спинового стекла  
предшествует  
**переход в состояние  
суперпарамагнетика.**

# Мультиферроики



## Материалы

- Магнитно поляризуемые
- Ферромагнетики
- Электрически поляризуемые
- Сегнетоэлектрики
- ▨ Мультиферроики
- ▨ Магнитоэлектрики

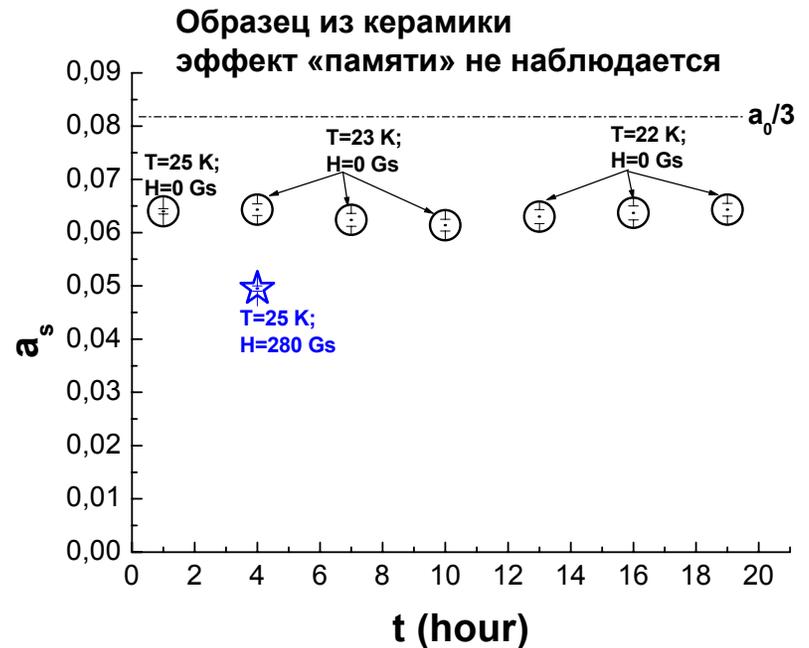
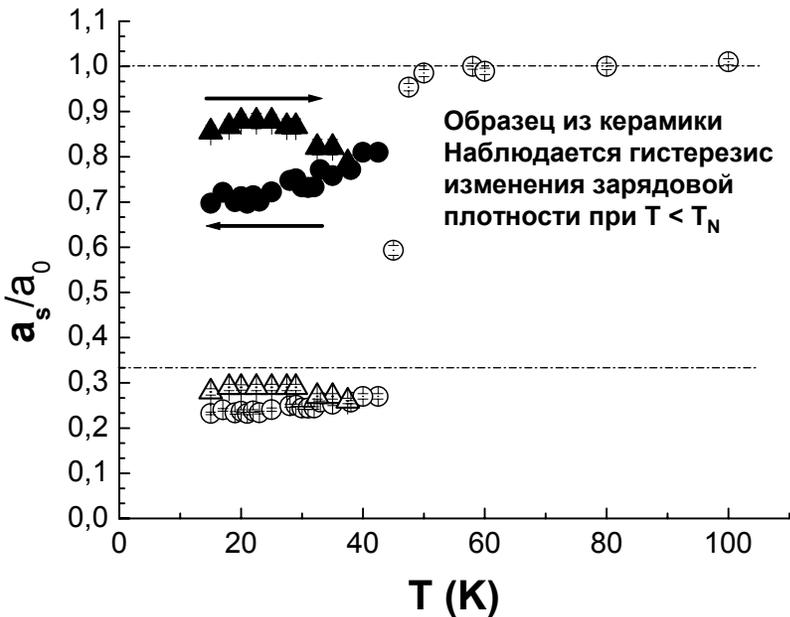
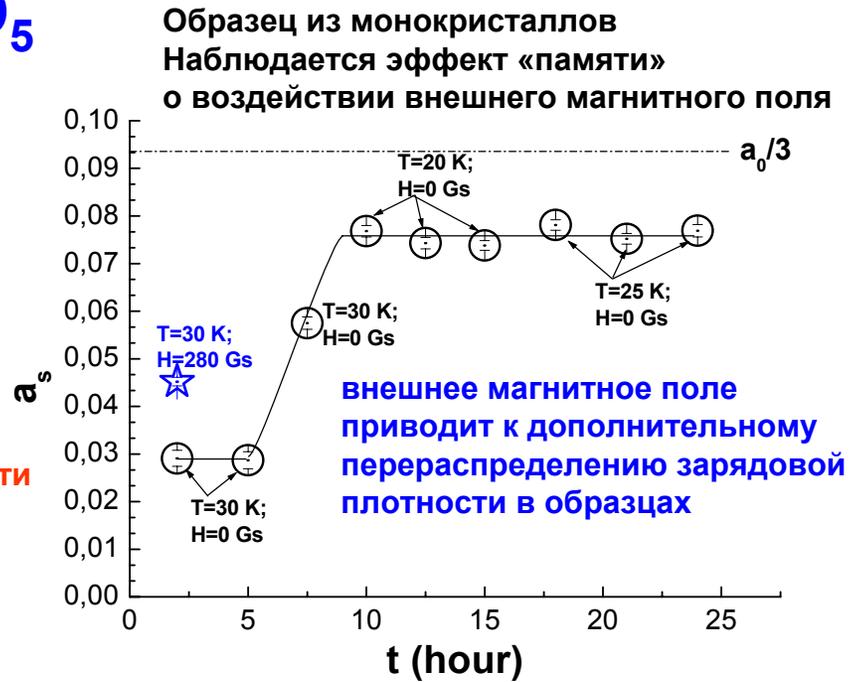
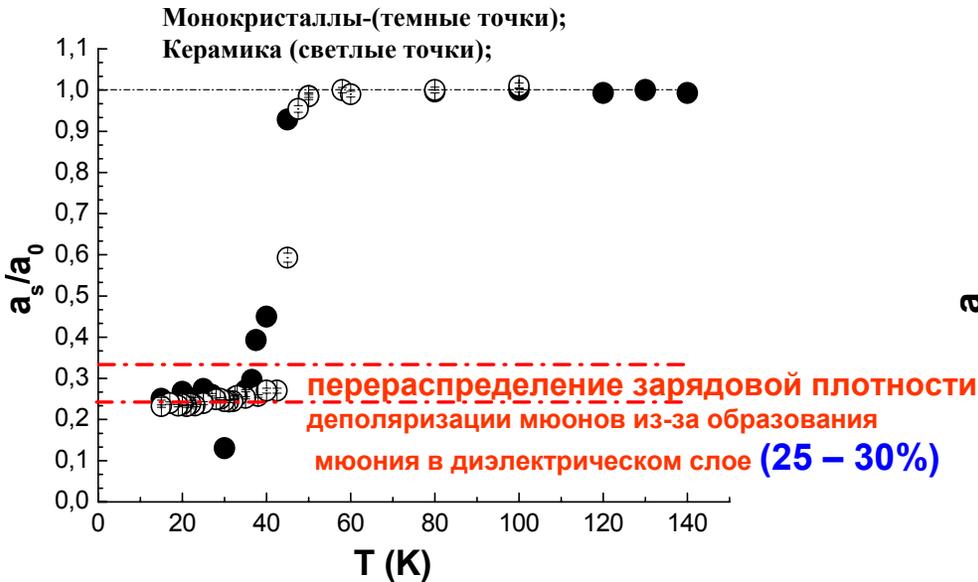
**В последние годы интересны материалы, в которых сосуществуют магнитное и электрическое упорядочения.**

**Применение: для сенсорной техники, магнитной памяти и микроэлектроники, в частности спинтроники,**

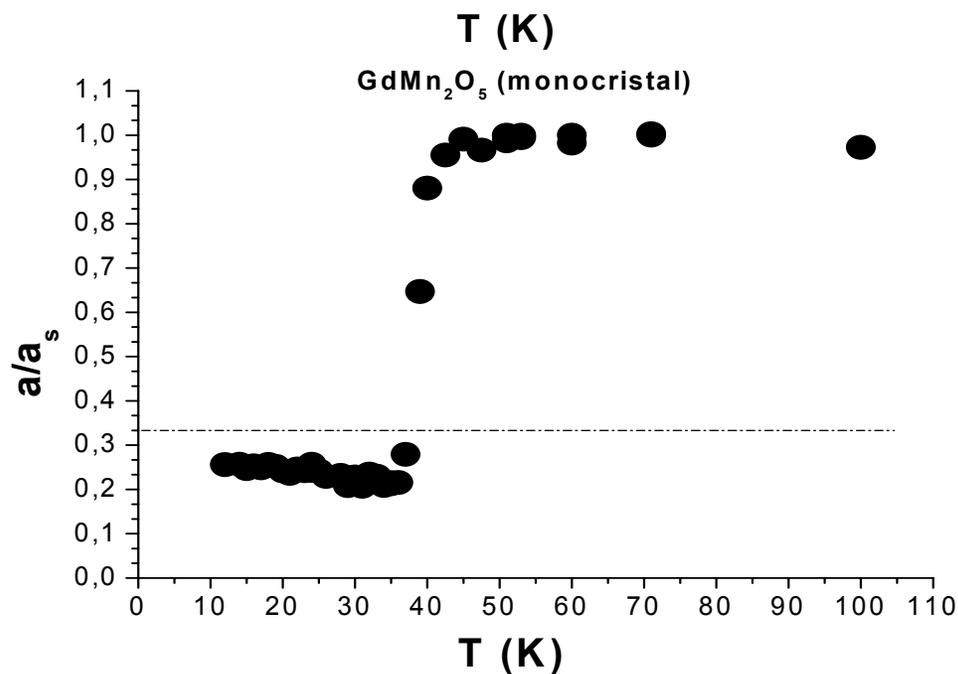
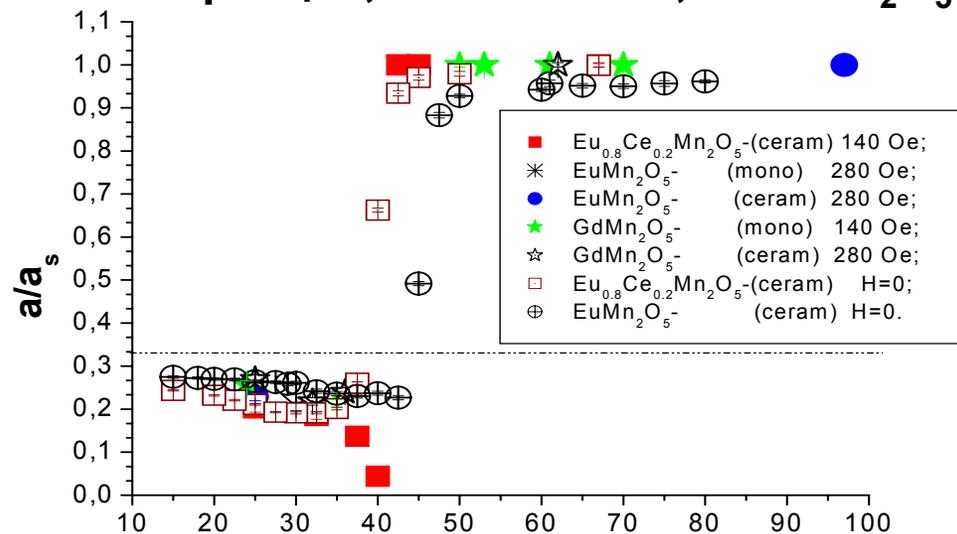
**Наиболее интересны мультиферроики с близкими температурами магнитного и ферроэлектрического упорядочения.**

**Представителями таких соединений, в частности, являются манганиты  $\text{RMn}_2\text{O}_5$  (R – металл редкоземельной группы элементов), AFM и FE порядки в этих материалах реализуются при близких значениях температуры (30 – 40 К).**

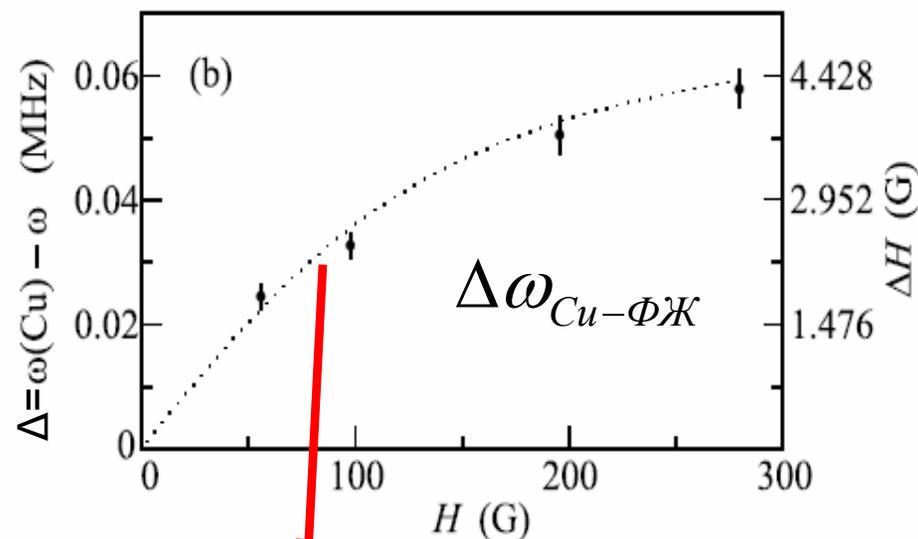
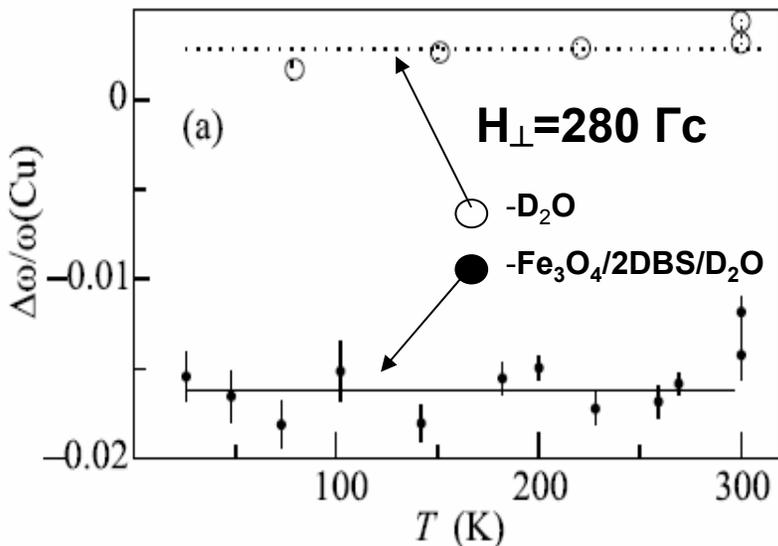
# EuMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



# Перераспределение зарядовой плотности наблюдается и в других образцах, в частности, в $\text{GdMn}_2\text{O}_5$ .



# Феррожидкость ( $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{PAV}(2\text{DBS}) + \text{D}_2\text{O}$ )



Полученные результаты позволили определить размер наночастиц  $\sim 12 \text{ нм}$ , что хорошо согласуется с размером изготовленного образца ( $11.5 \text{ нм}$ )!

**ВЫВОД:**  $\mu\text{SR}$ -метод дает возможность установить размер магнитных нановкраплений в парамагнитной матрице!

В 2009 году был приготовлен образец феррожидкости на основе  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  с заполнением  $\text{H}_2\text{O}$ . Были проведены магнитные исследования. К сожалению, сеанс в декабре сорвался из-за поломки ускорителя.

# Конструкционные материалы для реакторов

ферритно-мартенситные стали;

Низкоактивируемые хромистые стали ЭК181 ( $\text{Fe}_x\text{Cr}_{1-x}$ );

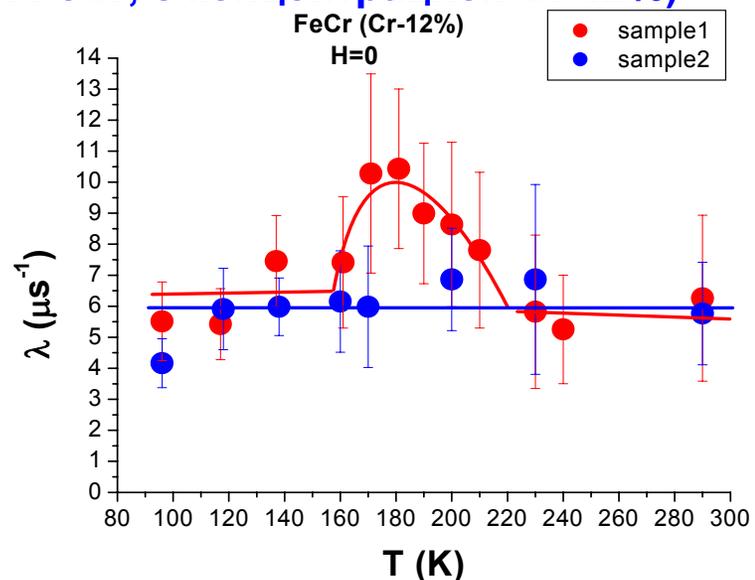
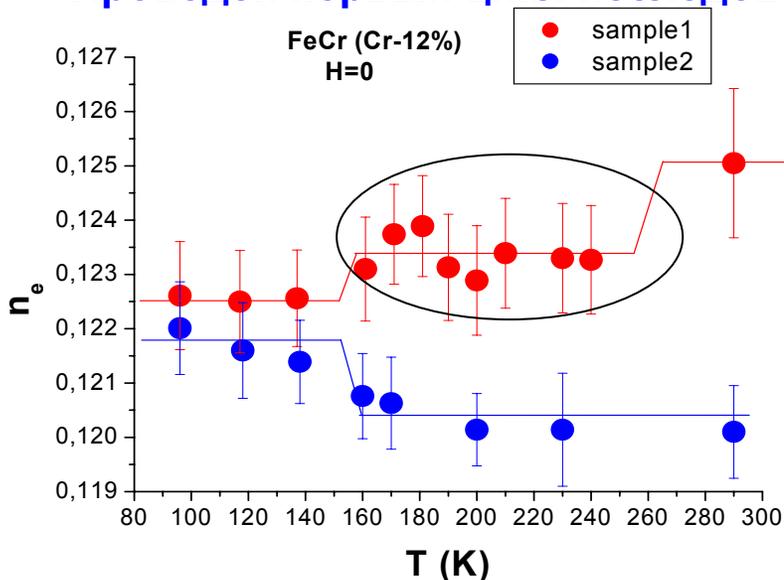
сплавы ванадия.

Проблема: изменение механических свойств при химическом и радиационном воздействии из-за хрупко-вязкого перехода (ХВП).

Задача: выяснить возможность применения  $\mu\text{SR}$ -метода для контроля смещения ХВП от радиационного воздействия (эффект радиационного охрупчивания) на материалы с разным содержанием хрома.

Следует отметить еще одну особенность метода: он дает возможность определять концентрацию и тип дефектов в материале, а также контролировать его магнитную текстуру, при производстве данных материалов.

## Проведен первый цикл исследований FeCr, с концентрацией Cr-12%



Возможен договор с РОСАТОМОМ

# Планы на будущее!

**В 2010 году планируется:**

**I.** Провести исследования редкоземельного манганита  $TbMnO_3$  с орторомбической структурой.

Продолжить исследования свойства кристаллов  $RMn_2O_5$  (R–редкоземельный ион от Pr до Lu, Y или Bi) с различным размером структурных единиц.

Определить, существует ли эффект перераспределения зарядовой плотности в других манганитах, например  $RMnO_3$ , или это есть особенность кристаллов  $RMn_2O_5$  с двумя разновалентными ионами марганца.

Провести подробные  $\mu SR$ -измерения локальных магнитных полей в нулевом внешнем магнитном поле в образцах  $R_{(1-x)}Ce_xMn_2O_5$  (R= Eu, Gd с  $x=0,2$  и  $0,25$ ) в диапазоне температур  $10 \div 50$  К.

**II.** Продолжить исследования с помощью  $\mu SR$ -метода феррожидкостей на основе  $CoFe_2O_4$  с заполнением  $D_2O$  и  $H_2O$  в зависимости от размера гранул и их концентрации, получить оценки размера наночастиц.

**III.** Продолжить исследования  $Fe_xCr_{1-x}$  с целью выявления природы хрупко-вязкого перехода в зависимости от концентрации Cr.



Появилась возможность организовать в ПИЯФ РАН практическую подготовку молодых специалистов для прохождения преддипломной и постдипломной практики и проведения научных исследований в области конденсированных сред с использованием пучка поляризованных мюонов для студентов и аспирантов обучающихся на кафедрах МФТИ (Кафедра теоретической физики) и НИЯУ МИФИ (24 кафедра: Прикладная ядерная физика) и других учебных заведений, где в настоящее время читается курс лекций по  $\mu$ SR-спектроскопии.

**В 2009 году, в летнюю сессию, совместно принимали зачёт по теории  $\mu$ SR-метода у студентов 4-го курса НИЯУ МИФИ;**

**В 2009 году проходили обучение аспиранты и студенты:**

1. Курельчук Ульяна Николаевна – аспирантка 1-го курса НИЯУ МИФИ (её задача - теоретические расчеты для наших  $\mu$ SR-исследований, научные консультанты Коптев В.П., Мищенко А.Ю., Воробьев С.И.);
2. Вернер Анна Владимировна – студентка 5-го курса НИЯУ МИФИ (руководители НИРС – Мищенко А.Ю. и Коптев В.П.);
3. Морослип Александр – студент 4-го курса физико-технического факультета НИЯУ МИФИ. Предполагаемое место прохождения практики и дипломного проектирования – ЛМФКС ОФВЭ ПИЯФ РАН (руководители НИРС – Мищенко А.Ю. и Щербаков Г.В.);
4. Суворова Анна – студентка 4-го курса НИЯУ МИФИ (руководители НИРС – Мищенко А.Ю. и Воробьев С.И.);
5. Воробьева Ирина Ивановна – студентка 5-го курса Института математики и естественных наук СГПА (её задача – программное обеспечение для наших  $\mu$ SR-исследований, руководители НИРС Коптев В.П., Воробьев С.И., Щербаков Г.В.).

**Проблема: ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИЛЬЁМ НА ВРЕМЯ ПРЕБЫВАНИЯ У НАС!!!  
И возможной оплаты труда.**

## Список публикаций ЛМФКС по $\mu$ SR за 2009 год:

1. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. Исследование фазовых переходов и распределения локальных магнитных полей  $\mu$ SR-методом. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ–2009. Аннотации докладов. В 3 томах. Т. 1. Ядерная физика и энергетика. М.: МИФИ, 2009. Стр. 272.
2. С.И. Воробьев, В.П. Коптев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. Применение мюонного метода ( $\mu$ SR-метода) для исследования магнитных свойств вещества. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ–2009. Сборник научных трудов. Т. 2. М.: МИФИ, 2009. Стр. 221 – 224.
3. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, Е.И. Головенциц, А.А. Дзюба, Е.Н. Комаров, В.П. Коптев, С.А. Котов, В.А. Санина, Г.В. Щербаков. Исследование мультиферроиков  $\text{RMn}_2\text{O}_5$  с помощью  $\mu$ SR-метода. Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы, № 8, 2009. <http://www.ptosnm.ru/catalog/s/46>.
4. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, Е.И. Головенциц, А.А. Дзюба, Е.Н. Комаров, В.П. Коптев, С.А. Котов, В.А. Санина, Г.В. Щербаков. Исследование редкоземельных манганитов и манганатов с помощью  $\mu$ SR-метода. Второй международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (MULTIFERROICS-2). – Ростов-на-Дону, п. Лоо, 23-28 сентября 2009 г.: Труды симпозиума. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2009. стр. 48 – 50.
5. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. Исследование спин-стекольной фазы в сплавах  $(\text{Pd}_{1-x}\text{Fe}_x)_{0.95}\text{Mn}_{0.05}$  и  $\text{Cu}_{(1-x)}\text{Mn}_x$  с помощью  $\mu$ SR-метода. Второй международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (MULTIFERROICS-2). – Ростов-на-Дону, п. Лоо, 23-28 сентября 2009 г.: Труды симпозиума. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2009. стр. 80 – 82.
6. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, Е.И. Головенциц, А.А. Дзюба, Ю.В. Ёлкин, Е.Н. Комаров, В.П. Коптев, С.А. Котов, В.А. Санина, Г.В. Щербаков. Исследование редкоземельных манганитов и манганатов с помощью  $\mu$ SR-метода. Актуальные проблемы физики твердого тела (ФТТ-2009): сборник докладов международной научной конференции, 20-23 октября 2009 г., Минск. В трех томах. Т.1/ редкол.: Н.М. Олехнович и др. – Минск: Вараксин А.Н., 2009. Стр. 117 – 119.
7. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. Исследование спин-стекольной фазы в сплавах  $(\text{Pd}_{1-x}\text{Fe}_x)_{0.95}\text{Mn}_{0.05}$  и  $\text{Cu}_{(1-x)}\text{Mn}_x$  с помощью  $\mu$ SR-метода. Актуальные проблемы физики твердого тела (ФТТ-2009): сборник докладов международной научной конференции, 20-23 октября 2009 г., Минск. В трех томах. Т. 1/ редкол.: Н.М. Олехнович и др. – Минск: Вараксин А.Н., 2009. Стр. 98 – 100.
8. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. Исследование фазовых переходов и распределения локальных магнитных полей  $\mu$ SR-методом. Конференция (школа-семинар) по физике и астрономии для молодых ученых Санкт-Петербурга и Северо-Запада «Физика. СПб». Тезисы докладов, 29-30 октября 2009 г., Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2009. Стр. 107 – 108.
9. У.Н. Курельчук, А.Ю. Мищенко, С.И. Воробьев. Исследование магнитных переходов в ферросплавах  $\mu$ SR-методом. VII Курчатовская молодежная научная школа, 10 – 12 ноября 2009 г.
10. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, Е.И. Головенциц, А.А. Дзюба, Е.Н. Комаров, В.П. Коптев, С.А. Котов, В.А. Санина, Г.В. Щербаков. Исследование редкоземельных манганитов и манганатов с помощью  $\mu$ SR-метода. Статья принята в журнал «Известия РАН. Серия физическая». (т. 74 вып. 5, 2010).
11. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, Е.И. Головенциц, А.А. Дзюба, Е.Н. Комаров, В.П. Коптев, С.А. Котов, В.А. Санина, Г.В. Щербаков. Исследование манганита  $\text{EuMn}_2\text{O}_5$  с помощью  $\mu$ SR-метода. Сообщение ПИЯФ – 2826, Гатчина – 2009, 18 стр.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С НОВЫМ 2010 ГОДОМ!!!

