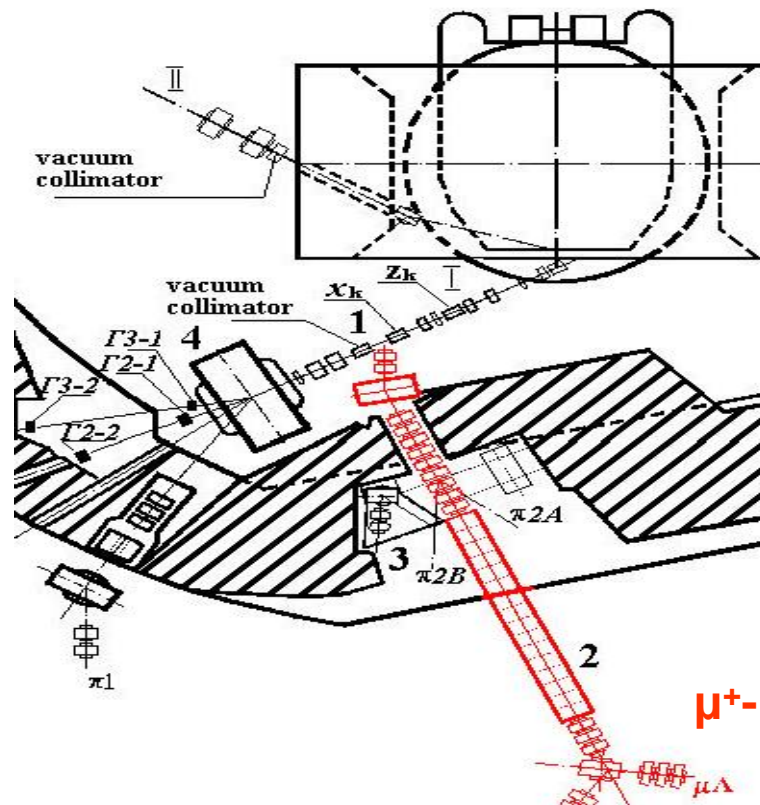
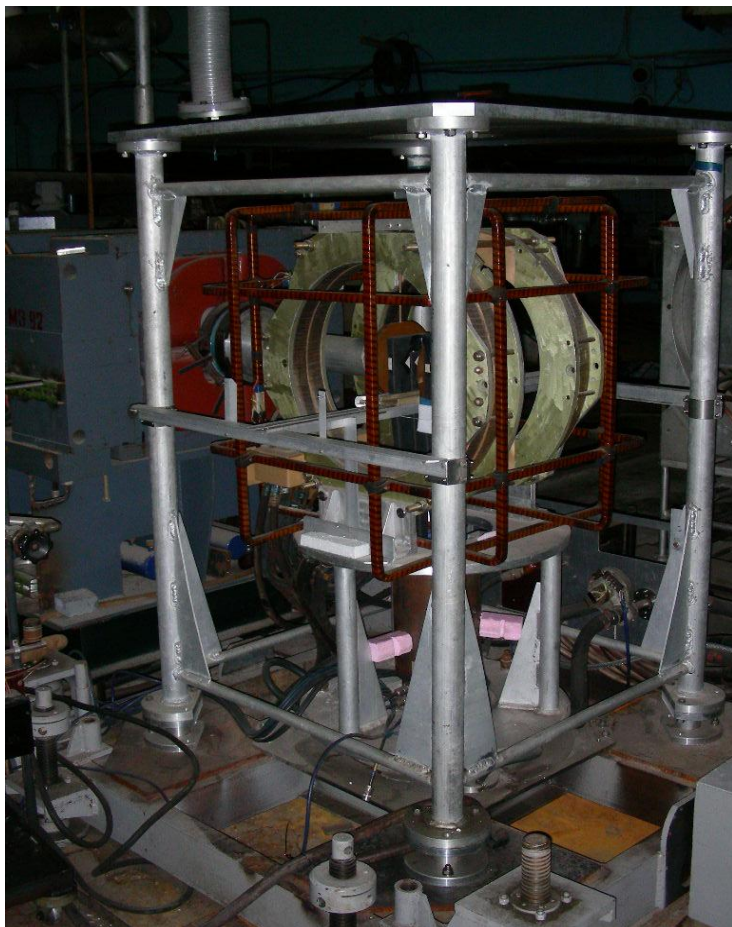


μ SR - 2012



$P_{\mu^+} = 70 \div 130 \text{ МэВ/с}$



12 января 2012 года ушёл из жизни
заведующий лаборатории мезонной физики
конденсированных сред ОФВЭ ПИЯФ
КОПТЕВ ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ.



В лаборатории два направления:

Воробьев С.И. - и.о. рук.лаб.
Виноградова Л.Л.

I. μ SR- исследования на ускорителе ПИЯФ.

Щербаков Геннадий Васильевич	– с.н.с.
Геталов Александр Леонидович	– с.н.с.
Комаров Евгений Николаевич	– с.н.с.
Котов Сергей Арестович	– н.с.
Павлова Ирина Ивановна	– м.н.с.
Морослип Александр Эдуардович	– аспирант

II. Рождение мезонов в pN и pA – соударениях (Эксперимент ANKE). (Доклад Барсова С.Г.)

Барсов Сергей Григорьевич	– с.н.с.
Вальдау Юрий Валерьевич	– н.с.
Микиртычьянц Сергей Михайлович	– с.н.с.
Шиков Егор Николаевич	– м.н.с.
Дзюба Алексей Александрович	– с.н.с.

Участие Лаборатории МФКС в конкурсах в 2012 году:

Конкурс лучших работ ПИЯФ им. Б.П.Константинова

По ANKE 3-я премия: «Исследование А-зависимости рождения ф-мезонов в протон-ядерных соударениях».

По μ SR 3-я премия: «Исследование магнитных фазовых состояний с помощью μ SR-установки».

Конкурс работ молодых учёных и специалистов ПИЯФ

Премия в номинации «работы аспирантов» -

«Исследование ферритно-мартенситных сталей методом μ SR»

Премия второй степени в номинации «молодые учёные и специалисты» -

«Исследование мультиферроиков μ SR-методом».

Грант РФФИ № 12-02-06061-г «Организация и проведение международного научного совещания «11th Workshop on Existing and Future Projects between PNPI (Gatchina) and FZJ (Julich)».

Конкурс научных проектов, выполняемых молодыми учеными (Мой первый грант)

Грант РФФИ № 12-02-31762-мол-а «Исследование рождения Сигма-минус гиперона в протон-нейтронных взаимодействиях».

Комитет по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга XV Конкурс бизнес-идей, научно-технических разработок и научно-исследовательских проектов «Молодые, дерзкие, перспективные».

Номинация «Научно-исследовательские проекты»:

Павлова И.И. «Исследование мультиферроиков μ SR-методом». – Работа прошла в финал.

Морослип А.Э. «Исследование ферритно-мартенситных сталей методом μ SR».

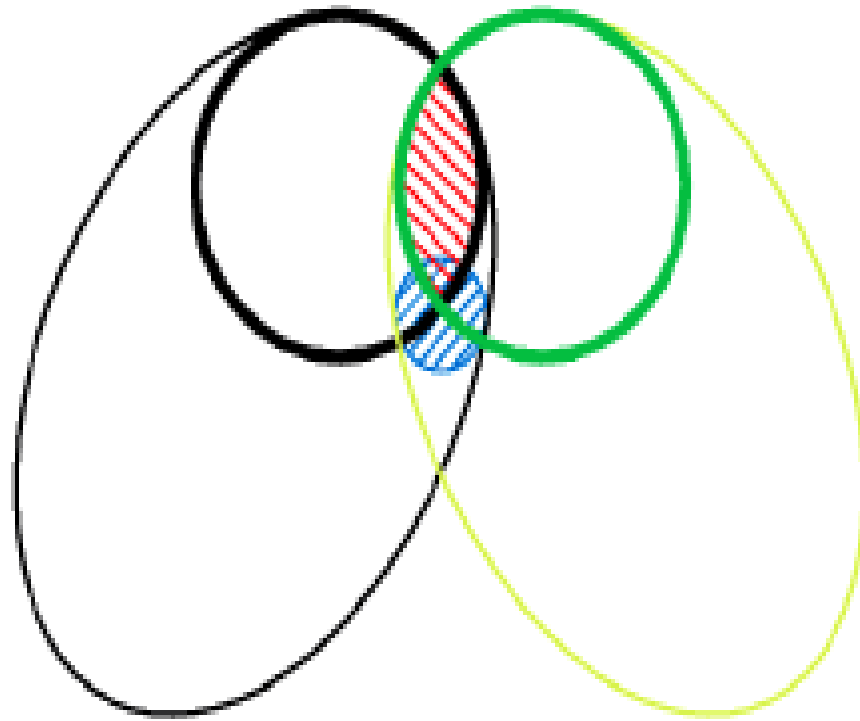
Заявка на **Грант РФФИ № 13-02-00052-а** «Исследование внутренних магнитных полей мультиферроиков с помощью μ SR-метода».

Заявка на **Грант РФФИ № 13-02-00235-а** «Исследование рождение мезонов и гиперонов в протон-нейтронных взаимодействиях вблизи порога».

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ в 2012 году:

- I. Завершена обработка данных по исследованию магнитных фазовых переходов и распределению локальных магнитных полей в GdMn_2O_5 ; *(совместно с ФТИ им. А.Ф. Иоффе (СПб)).*
- II. Проведен эксперимент по исследованию магнитных фазовых переходов и распределению локальных магнитных полей в мультиферроике $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ *(совместно с ФТИ им. А.Ф. Иоффе (СПб));*
- III. Исследование мультиферроиков–перовскитов. Приготовлен образец керамики TbMnO_3 . *(Совместно с ФТИ, Санкт-Петербург).*
- IV. Исследование свойств феррожидкостей на основе наночастиц MeFe_2O_4 , диспергированных в органические или неорганические среды.
Приготовлен образец феррожидкости ($\text{CoFe}_2\text{O}_4 + \text{PAV}(2\text{DBS}) + \text{H}_2\text{O}$).
*(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)).*
- V. Исследования фазовых переходов в хромистых сталях FeCr , содержание Cr~12%. *(совместно с НИЯУ МИФИ (Москва)).*
- VI. Модернизация μSR -установки *(совместно с ЛКСТ ОФВЭ).*

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 RMn_2O_5 (R – металл редкоземельной группы элементов), AFM и FE порядки в этих материалах реализуются при близких значениях температуры (30 – 40 K).

Исследование мультиферроика GdMn_2O_5 μSR -методом

Мультиферроик GdMn_2O_5 (керамический образец и образец, составленный из большого числа хаотически ориентированных монокристаллов с линейными размерами 2–3 мм) был изучен μSR -методом в интервале температур 10–300 К. Обнаружены три аномалии в температурном поведении параметров функции релаксации поляризации мюонов: вблизи фазового перехода, обусловленного возникновением дальнего магнитного порядка в подсистеме ионов марганца ($T_{M1}=40\text{--}41$ К); вблизи lock-in-перехода, обусловленного скачкообразным изменением волнового вектора магнитного порядка ($T_L=35$ К); вблизи температуры упорядочения ионов Gd^{3+} ($T_{M2}=15$ К). Анализ временных спектров прецессии спина мюонов во внутреннем магнитном поле образцов показал, что имеются две позиции предпочтительных мест локализации мюонов в образцах, различающиеся величинами частот прецессии и характером их температурной зависимости. Более низкочастотная прецессия, обусловленная ионами Mn^{4+} , ферромагнитными комплексами $\text{Mn}^{4+}\text{--Mn}^{4+}$ -мюоний (Mu) и ионами Gd^{3+} , наблюдалась во всей области температур $T < T_{M1}$ и практически не зависела от температуры. При температурах $T < T_L=35$ К возникала также более высокочастотная прецессия, обусловленная ионами Mn^{3+} . Для неё характерна температурная зависимость $(1 - T/T_{M1})^\beta$ с показателем $\beta = 0.39$, типичная для 3D-магнетиков гейзенберговского типа. При $T < T_{M1}$ обнаружен недостаток полной асимметрии. Это, возможно, обусловлено образованием мюония и указывает на важную роль процессов переноса заряда при формировании дальнего магнитного порядка.

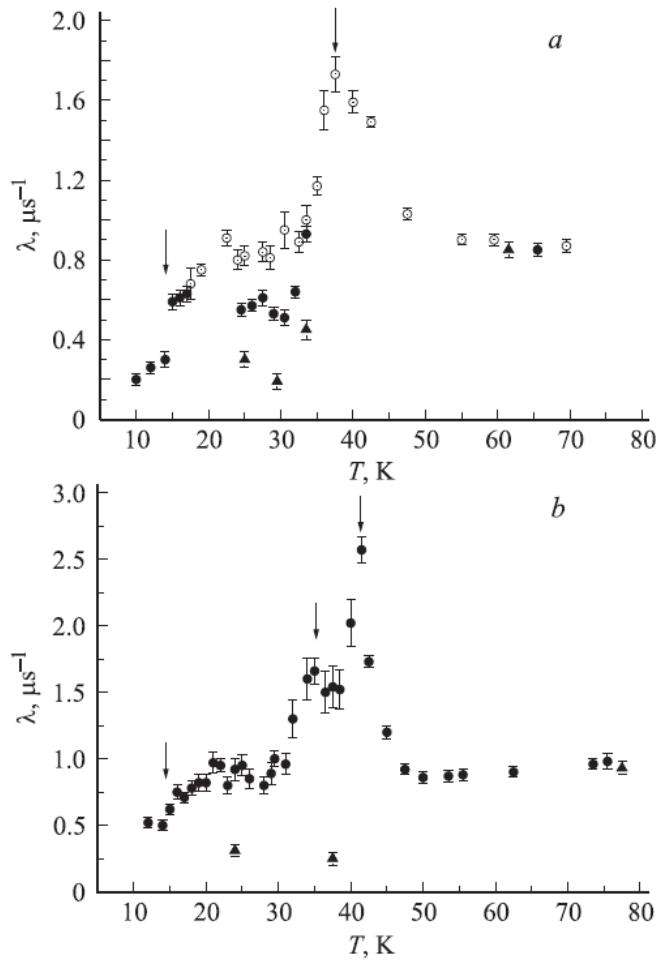


Рис. Температурная зависимость скорости динамической релаксации λ (*a*— керамический образец; *b* — образец из монокристаллов); темные точки относятся к измерениям при нагревании, светлые — при охлаждении, треугольники — к измерениям во внешнем магнитном поле $H = 280$ Oe; стрелками отмечены температуры фазовых переходов.

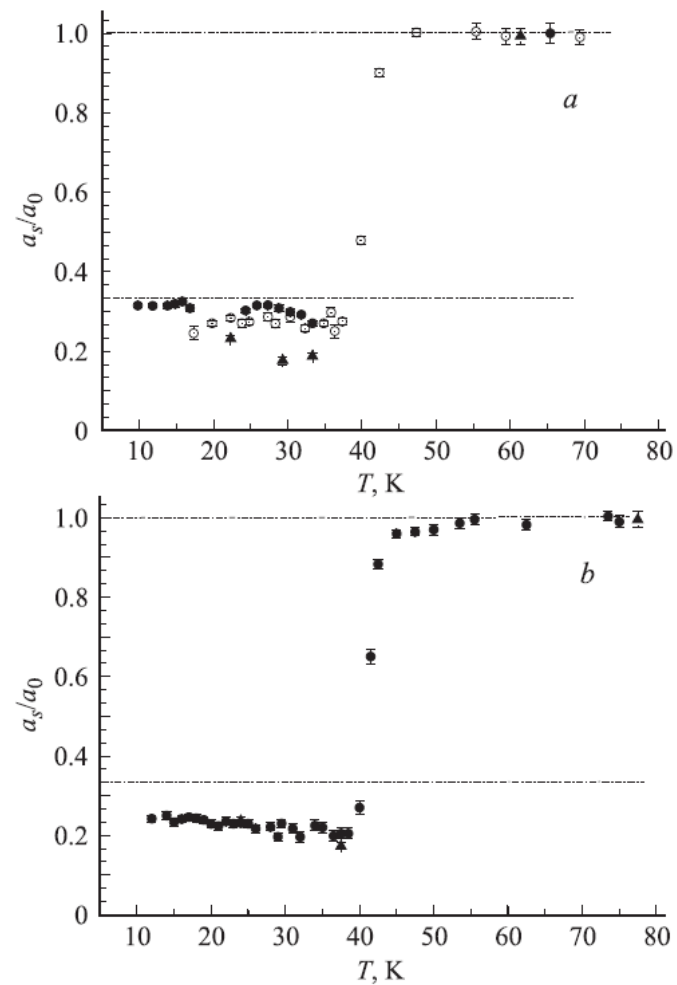


Рис. Температурная зависимость остаточной асимметрии a_s , нормированной к полной асимметрии a_0 (*a*— керамический образец; *b* — образец из монокристаллов); уровни нормированной асимметрии $a_s/a_0 = 1/3$ ($T < T_{N1}$) и $a_s/a_0 = 1$ ($T > T_{N1}$) отмечены штрихпунктирными линиями; темные точки относятся к измерениям при нагревании, светлые — при охлаждении, треугольники — к измерениям во внешнем магнитном поле $H = 280$ Oe.

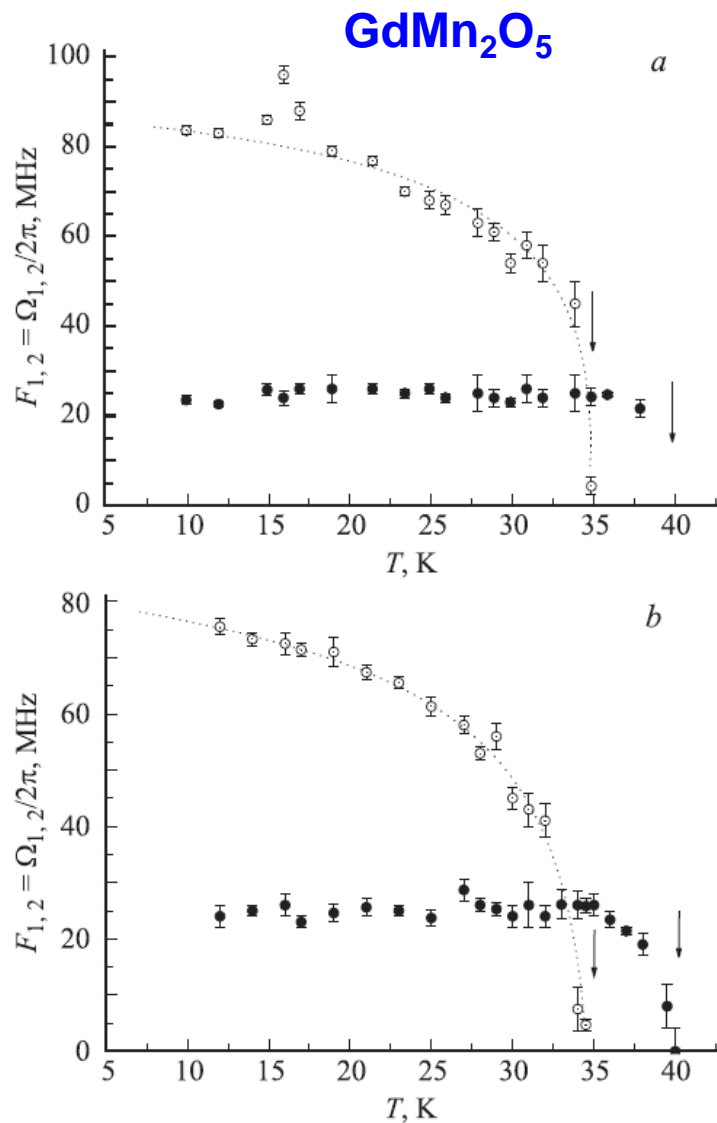
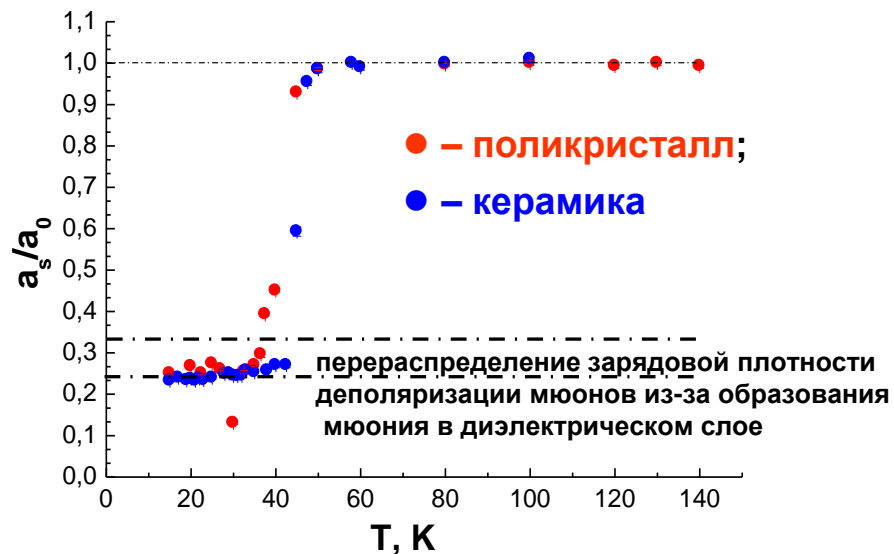
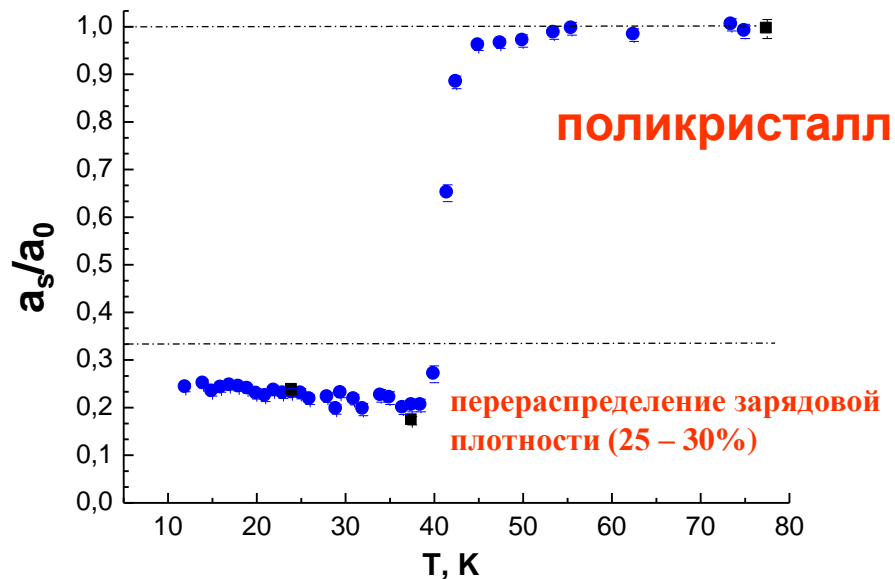
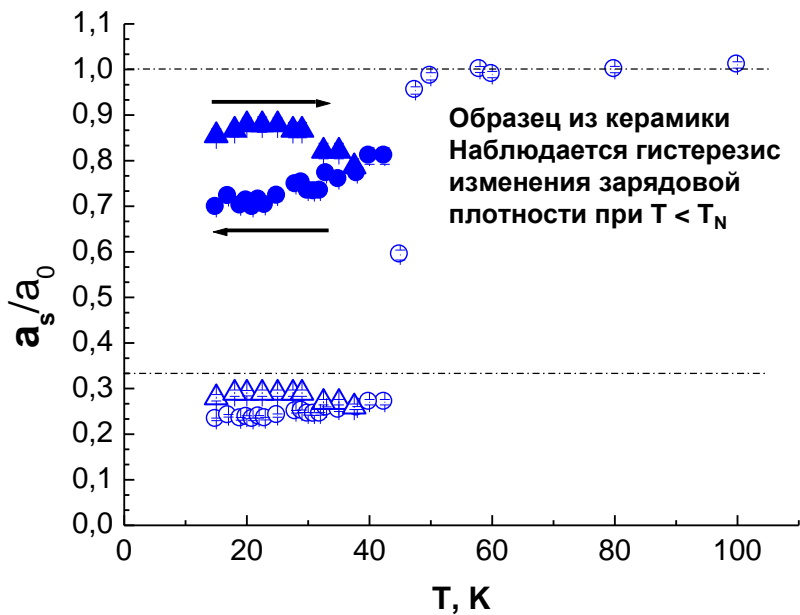
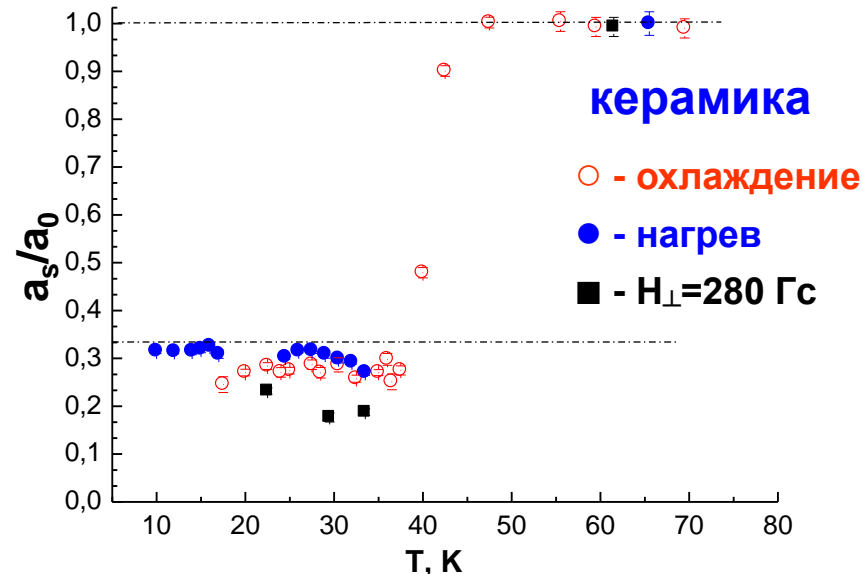


Рис. Температурные зависимости частот прецессии во внутреннем магнитном поле образца (*a* — керамический образец; *b* — образец из монокристаллов); темные точки относятся к частоте F_1 , светлые — к частоте F_2 ; стрелками отмечены температуры фазовых переходов $T_L = 35$ К и $T_{M1} = 40$ К; пунктирная кривая получена методом наименьших квадратов: $F_2 \sim (1 - T/T_L)^\beta$, $T_L = 35$ К; $\beta = 0.39 \pm 0.02$.

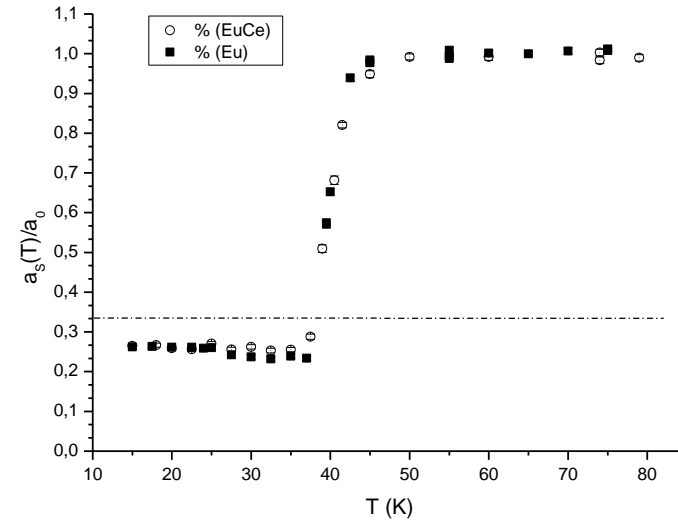
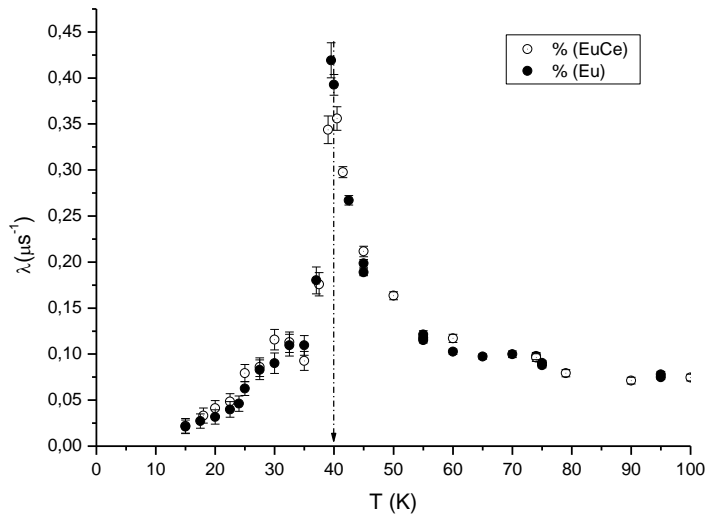
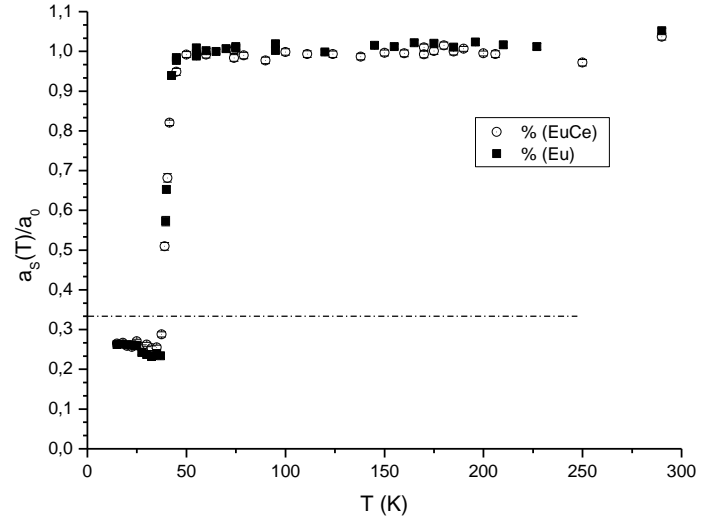
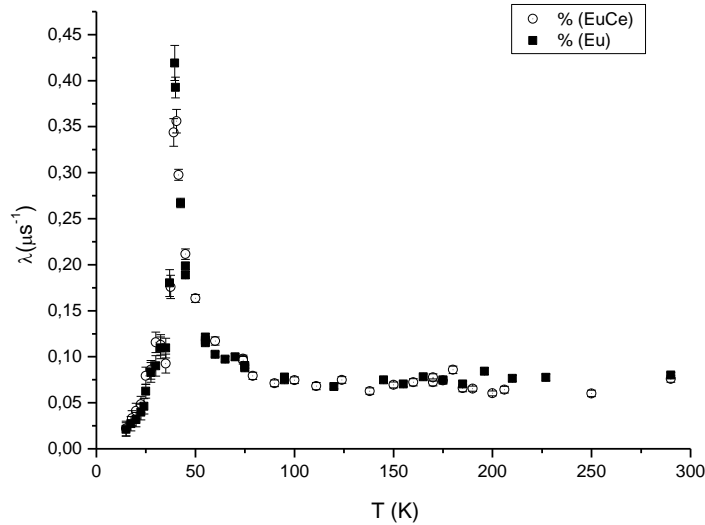
EuMn₂O₅



GdMn₂O₅

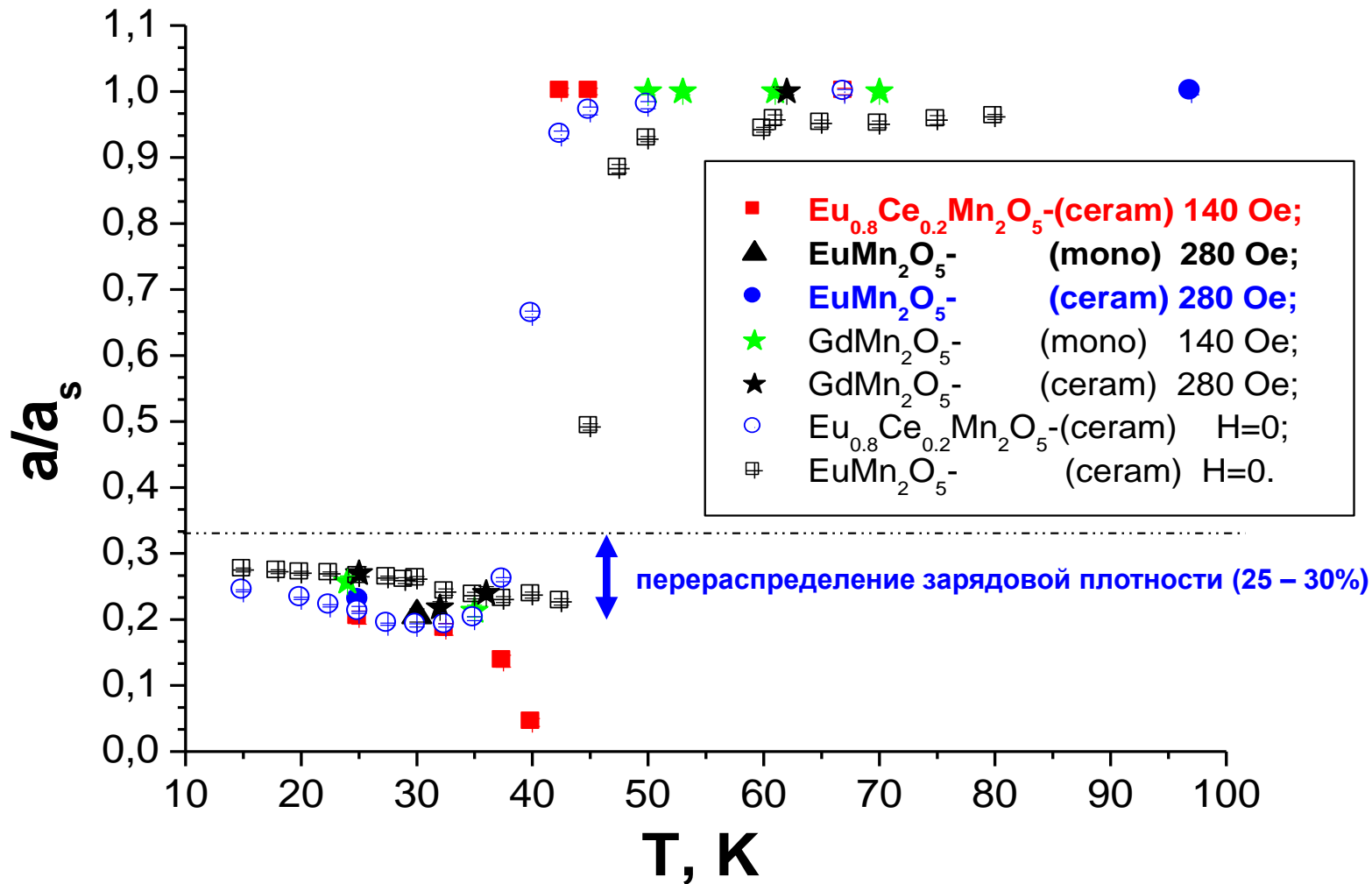


$\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ керамика



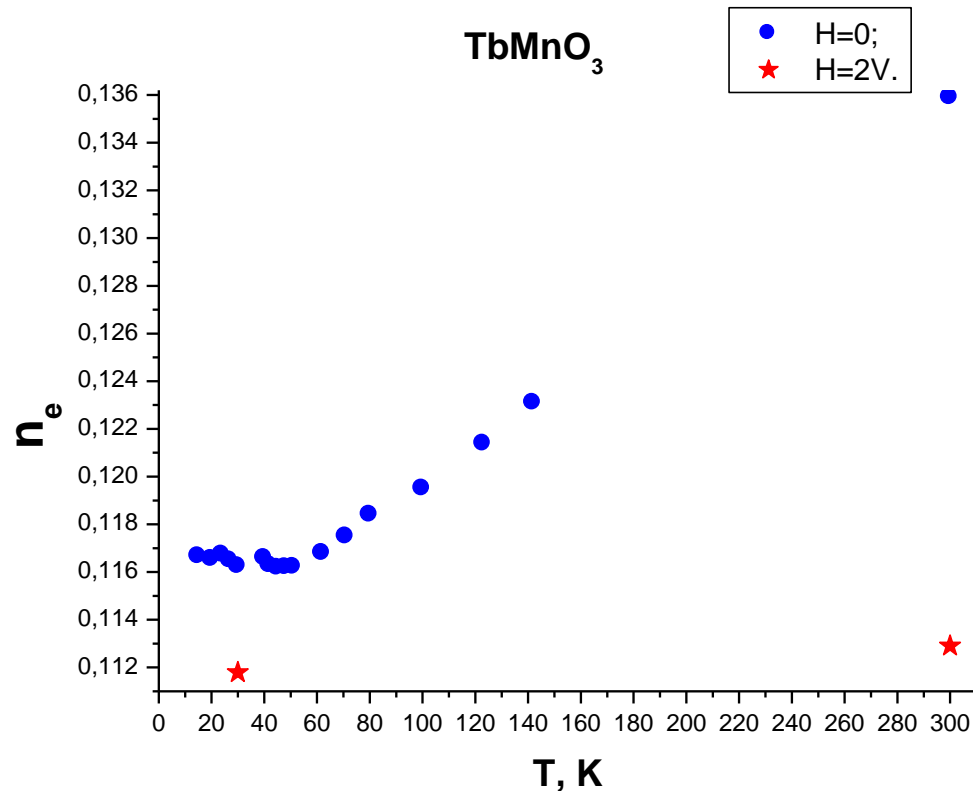
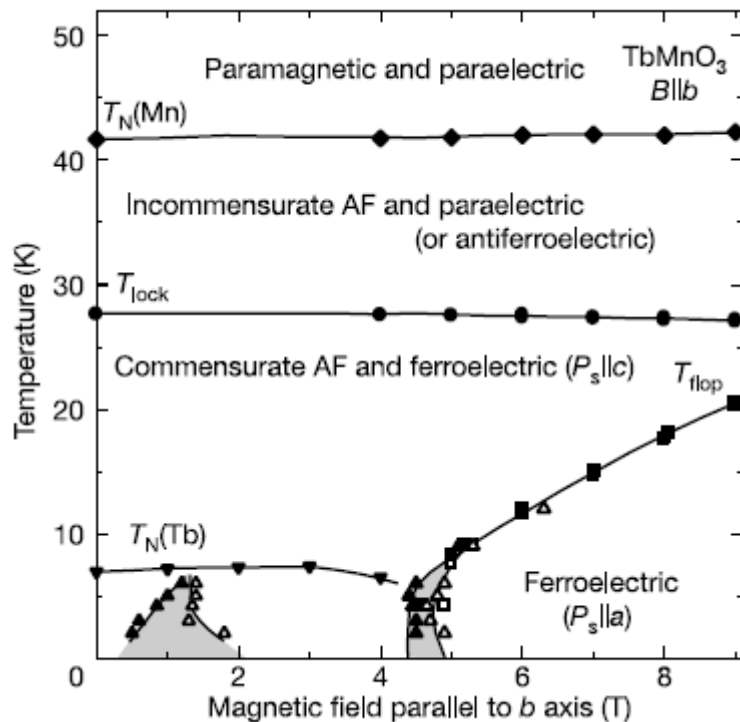
Работа представлена на XV Конкурсе бизнес-идей, научно-технических разработок и научно-исследовательских проектов
Готовится к публикации в **Письма в ЖЭТФ**

Перераспределение зарядовой плотности наблюдается во всех образцах RMn_2O_5



Результаты представлены на Научной сессии НИЯУ МИФИ-2012.

TbMnO₃ (керамика)



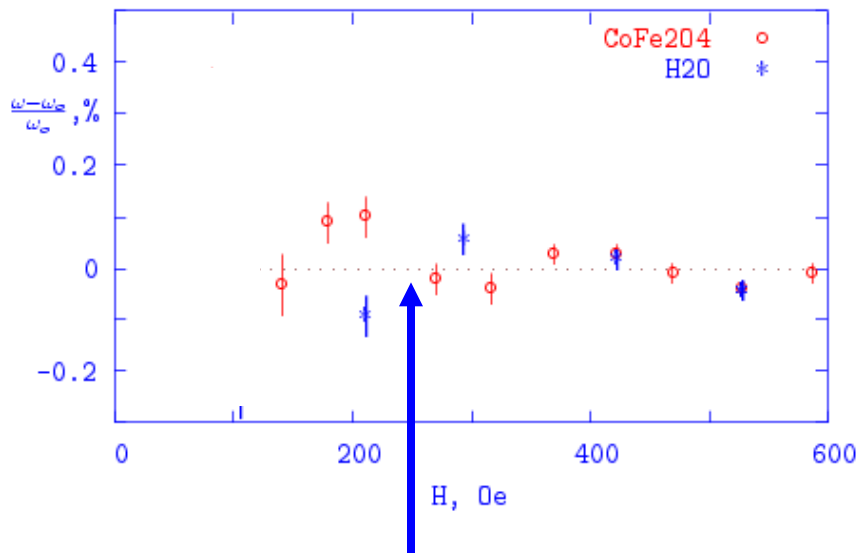
Первые исследования неудачные!!!
 Образец приготовлен не правильно!
 Многофазный!

Исследования TbMnO₃ будут продолжены!

Феррожидкость

$\text{CoFe}_2\text{O}_4 + \text{PAV}(2\text{DBS}) + \text{H}_2\text{O}$
(концентрация $\sim 1.5\%$).

Средний размер
гранул 11.5 нм

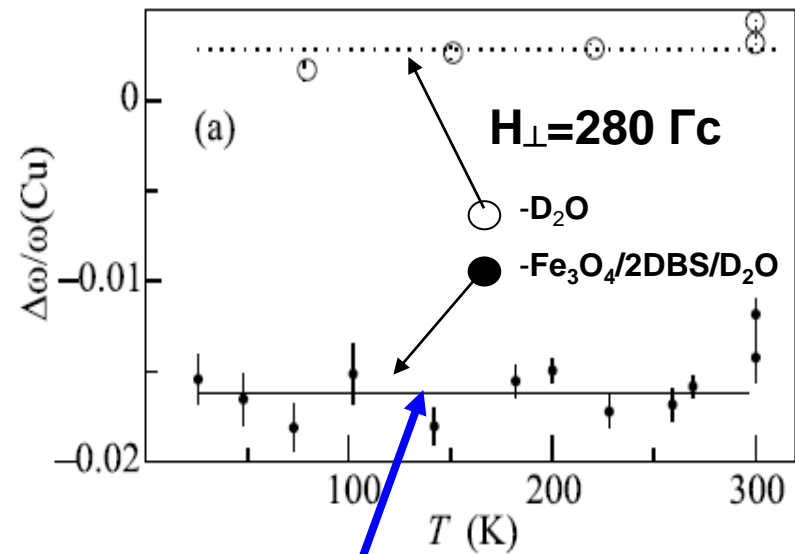


Нет смещения частоты

Возможные причины:

1. Более низкая концентрация (возможность μSR -метода);
2. Замещение атома Fe на Co.

$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{PAV}(2\text{DBS}) + \text{D}_2\text{O}$
(концентрация $\sim 4.7\%$).



Смещение частоты

Позволяет определить
размер наночастиц ($\sim 12 \text{ нм}$).

Планируется продолжить исследования феррожидкостей с большей концентрацией ($\sim 5\div 10\%$) CoFe_2O_4 и MnFe_2O_4 диспергированных в воде H_2O .

Результаты доложены на 2nd European Nuclear Physics Conference, IFIN-HH, Bucharest, Romania.

Конструкционные материалы для реакторов

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

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

Задача: выяснить возможность применения μSR -метода для контроля смещения ХВП от радиационного воздействия (эффект радиационного охрупчивания) на материалы с разным содержанием хрома.

Проведены первые исследования FeCr (Cr ~ 12%).

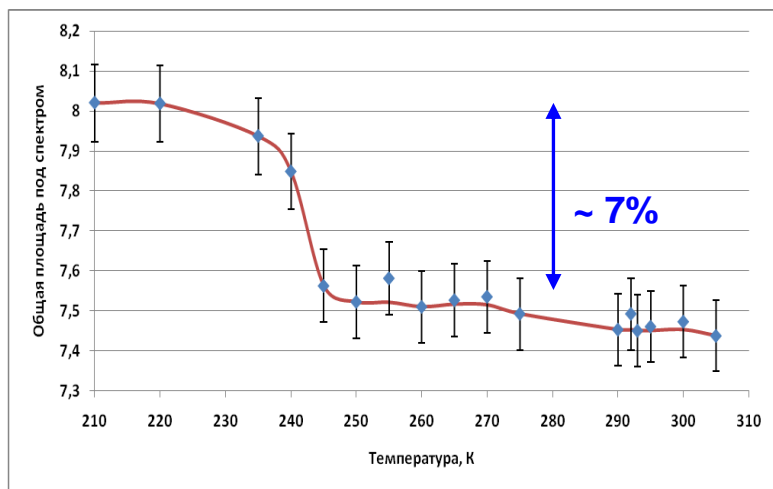
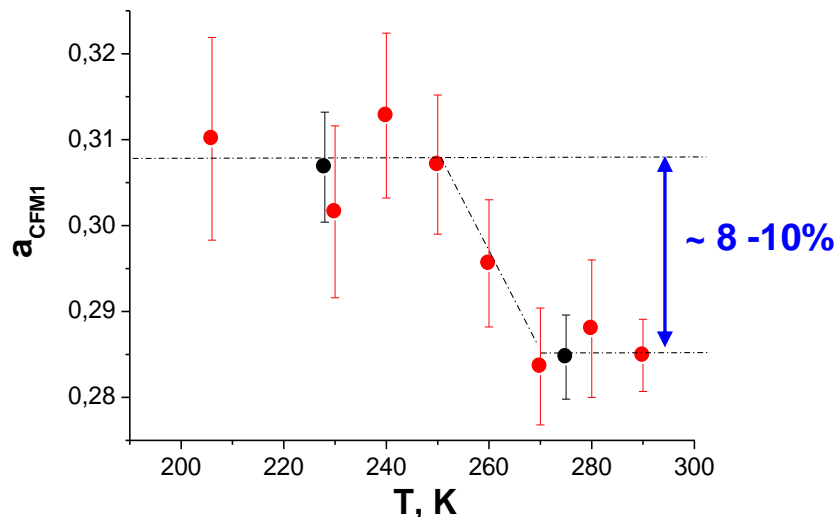


График зависимости общей площади под мессбауэрским спектром от температуры

Не дает информации о распределении магнитных полей



μSR -метод даёт возможность определения величины внутренних локальных магнитных полей

Работа выполняется совместно с НИЯУ МИФИ.

Результаты представлены на Научной сессии НИЯУ МИФИ-2012.

По данной теме выполнена дипломная работа студентом МИФИ Морослип А.Э.

- Объектом исследования являлась сталь ЭК-181 (RUSFER EK-181) с различными режимами термообработки:
- Образец 1. ЭК-181: исходное состояние (отжиг при 1070 °С).
- Образец 2. ЭК-181КТО1*+700 °С, 500 ч.

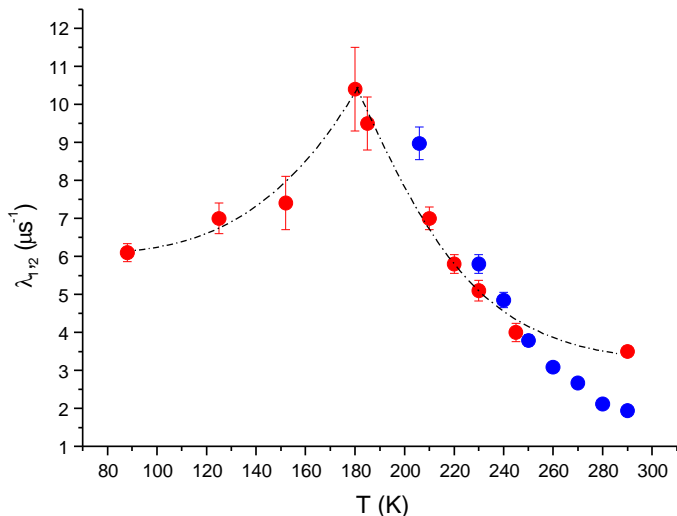


Рис. Скорость релаксации поляризации мюонов, остановившихся в образце. Красные точки – Образец 1, синие точки – Образец 2

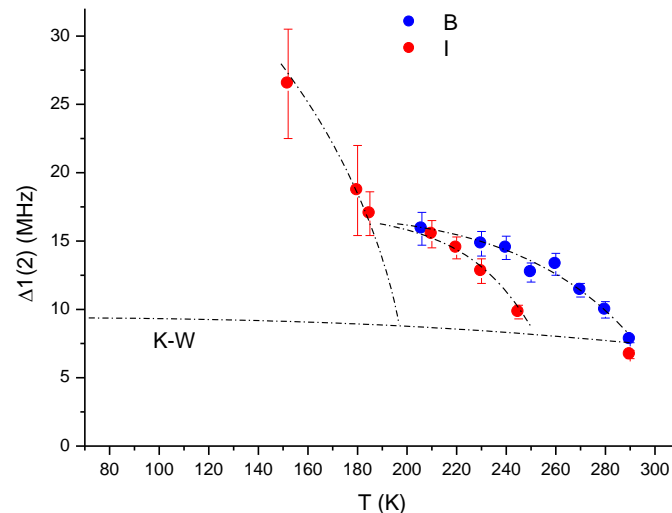


Рис. Температурная зависимость разброса частот. Красные точки – Образец 1, синие точки – Образец 2

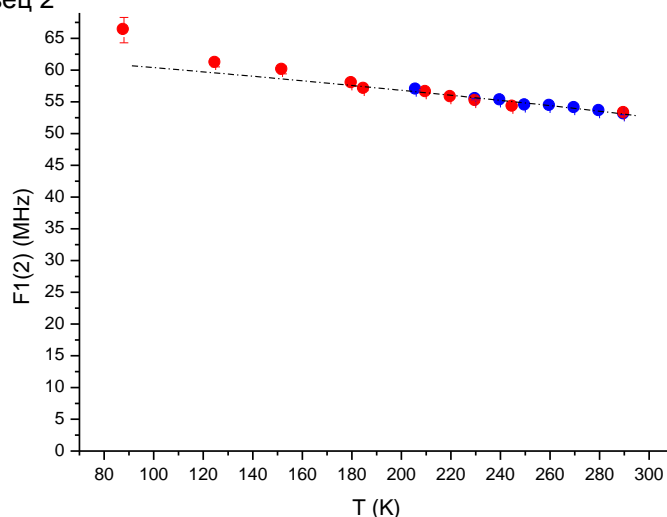


Рис. Зависимость частоты прецессии спина мюона от температуры. Красные точки – Образец 1, синие точки – Образец 2

ЭК 181 - Исходное состояние (отжиг при 1070 °С)

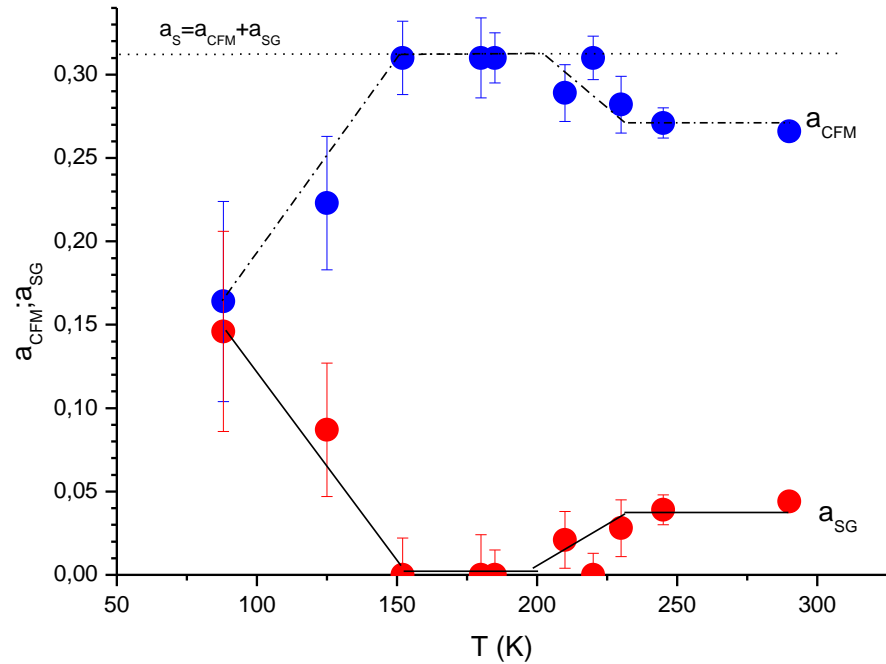


Рис. Зависимость асимметрии от температуры Образца 1. Линии нанесены для наглядности поведения зависимости. Красные точки – a_{SG} , синие точки – a_{CFM} .

ЭК181 - КТО1 + 700 °С, 500 ч отжига

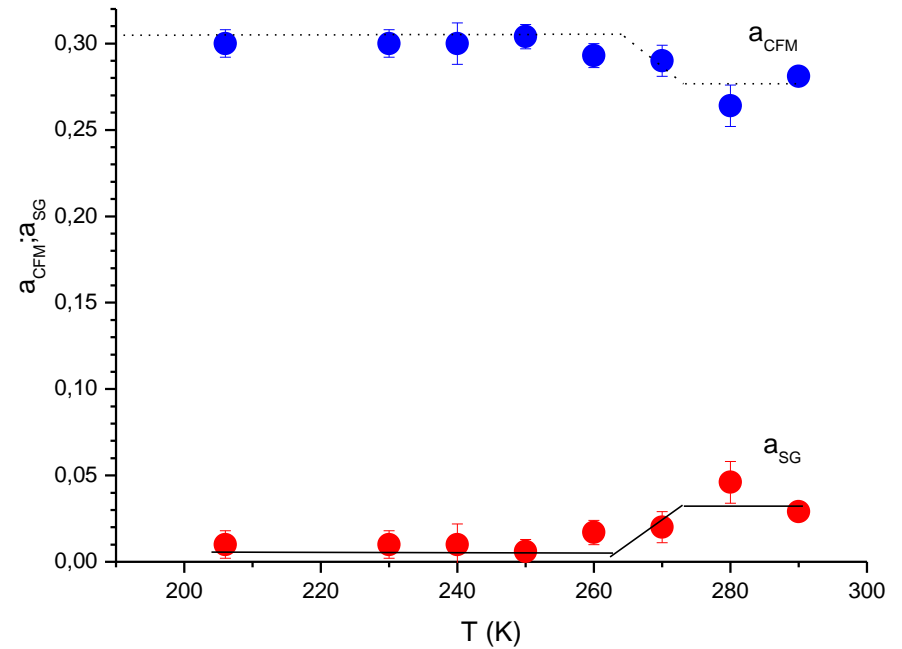


Рис. Зависимость асимметрии от температуры Образца 2. Линии нанесены для наглядности поведения зависимости. Красные точки – a_{SG} , синие точки – a_{CFM} .

Модернизация установки:

Для чего нужно:

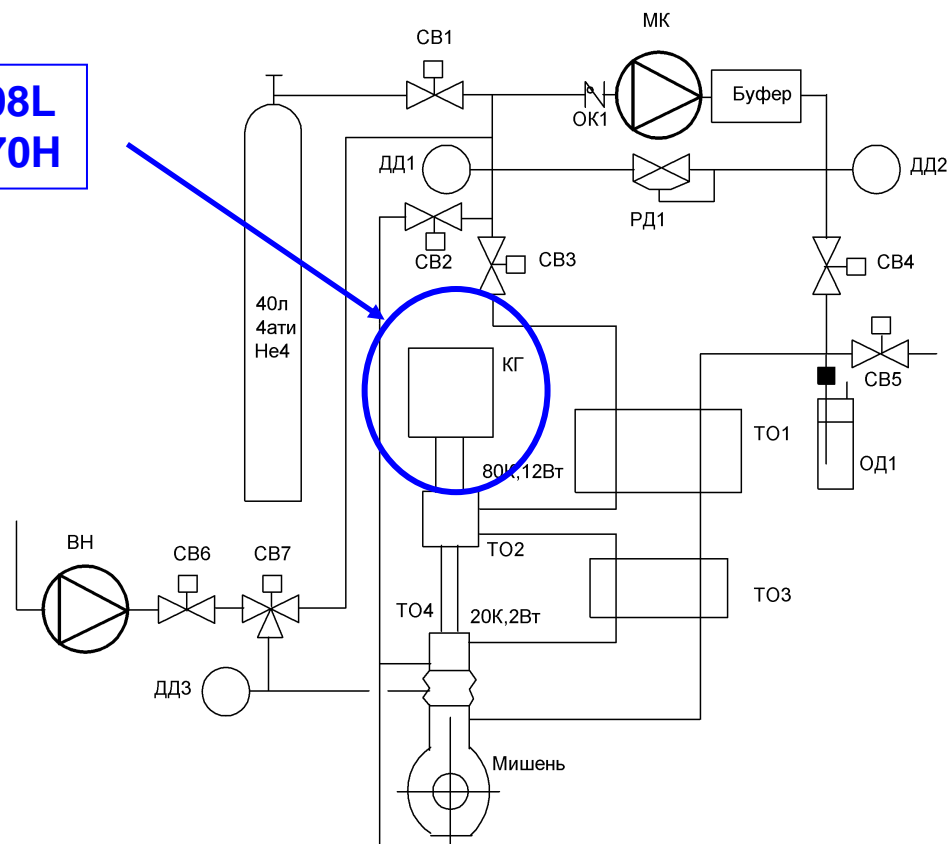
1. Изменять температуру исследуемых образцов в диапазоне 15 – 350 K;
2. Стабильно работать при высоких температурах (200 – 350 K);
3. Исключить потери гелия 20% (независимая работа от Криогенной Станции);
4. Экономия ускорительного времени (автономная работа- без захода в зал и смены дьюаров).

Криорефрижератор СН-208L
Гелиевый компрессор F-70H

Было приобретено

для создания «гелиевой петли»:

- турбомолекулярный насос;
- безмасляный спиральный насос;
- мембранный вакуумный насос.



Планы на 2013 год:

1. Исследование магнитных фазовых переходов и распределения локальных магнитных полей в мультиферроиках (ErMn_2O_5 , TbMn_2O_5 , TbMnO_3 и TbBiMnO_3).

а). В ErMn_2O_5 основной вклад в магнитный момент – орбитальный, сильно связанный с решеткой. Все моменты жестко ориентированы вдоль оси c , формируя внутреннее эффективное магнитное поле по этой оси. **Интересно проследить за частотами прецессии** в ErMn_2O_5 – взаимодействие Er-Mn существенно отличается от Gd-Mn .

б). Именно в ErMn_2O_5 был зафиксирован структурный фазовый переход с изменением расстояний в цепочке ионов $\text{Mn}^{3+}-\text{O}-\text{Mn}^{4+}$ вблизи 25 К. **Представляет интерес** изучить асимметрию в этом кристалле вблизи температуры перехода и сравнить с Eu - и Gd – образцами.

в). В TbMn_2O_5 тоже большой магнитный момент, но ориентированный в плоскости ab . Как это скажется на изменении асимметрии и поведении частот, вблизи структурного перехода.

г). **Интересно проверить** есть ли эффект потери асимметрии в мультиферроиках–перовскитах, номинально содержащих только ионы Mn^{3+} . Как там дело обстоит с частотами прецессии.

В 2012 г. приготовлены образцы манганата ErMn_2O_5 и перовскитной керамики TbMnO_3 . Планируется провести первые измерения. (Совместно с ФТИ).

2. Планируется провести исследования изменения частоты прецессии мюона в феррожидкости в зависимости:

а) от концентрации магнитных наночастиц ($\sim 5 \div 10\%$);

б) от состава образцов (CoFe_2O_4 и MnFe_2O_4 диспергированных в воде H_2O).

Образцы были готовы в апреле 2012 года. (Совместно с ОИЯИ).

3. Исследование фазовых переходов в хромистых сталях с помощью μSR -метода, а также определения зависимости величины внутренних локальных магнитных полей от способа обработки и приготовления.

На данный момент приготовлено 8 образцов. (Совместно с НИЯУ МИФИ, Москва).

4. Исследования электротехнических сталей «Исследование тензора магнитной текстуры» (совместно с НИЯУ МИФИ (Москва)).

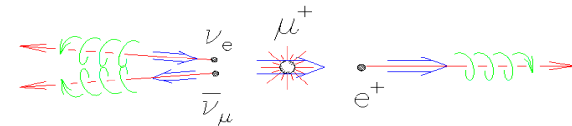
5. Продолжение модернизации установки.

Список публикаций за 2012 год (μ SR-метод):

1. Воробьев С.И., Геталов А.Л., Головенчиц Е.И., Комаров Е.Н., Коптев В.П., Котов С.А., Павлова И.И., Санина В.А., Щербаков Г.В. *Исследование мультиферроика $GdMn_2O_5$ с помощью μ SR-метода. Научная сессия НИЯУ МИФИ-2012.* Аннотации докладов. В 3 томах. Т.1 Инновационные ядерные технологии. Высокие технологии в медицине. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. Стр. 190.
2. Воробьев С.И., Иванова М.С., Коптев В.П., Милосердин В.Ю., Мищенко А.Ю., Морослип А.Э., Самосадный В.Т. *Исследование ферритно-мартенситных сталей методом μ SR.* Научная сессия НИЯУ МИФИ-2012. Аннотации докладов. В 3 томах. Т.1 Инновационные ядерные технологии. Высокие технологии в медицине. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. Стр. 191.
3. И.Ю. Иванов, А.А. Васильев, М.Е. Взнуздаев, С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, С.А. Котов, П.А. Кравцов, А.В. Надточий, В.А. Трофимов. *Измерение динамической магнитной восприимчивости сталей в криогенных условиях.* Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2012, №3 (79) стр. 105 - 109.
4. S.G. Barsov, A.L. Getalov, E.N. Komarov, V.P. Koptev, S.A. Kotov, A.E. Moroslip, I.I. Pavlova, G.V. Shcherbakov, S.I. Vorobyev. *μ SR-INVESTIGATIONS AT PNPI.* Сборник ОФВЭ.
5. С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.И. Головенчиц, Е.Н. Комаров, В.П. Коптев, С.А. Котов, И.И. Павлова, В.А. Санина, Г.В. Щербаков. *Исследование мультиферроика $GdMn_2O_5$ μ SR-методом.* Принята к публикации в журнал ФТТ.
6. S.I. Vorobyev, A.L. Getalov, E.I. Golovenchits, E.N. Komarov, I.I. Pavlova, S.A. Kotov, A.E. Moroslip, V.A. Sanina and G.V. Scherbakov. *The investigation of the manganites RMn_2O_5 by the μ SR method.* Направлена в журнал **Journal of Physics: Conference Series**.
7. И.И. Павлова. *Исследование мультиферроиков μ SR-методом.* Каталог XV конкурса бизнес-идей, научно-технических разработок и научно-исследовательских проектов «Молодые, дерзкие, перспективные». Санкт-Петербург, сентябрь 2012 г. Стр. 160-161.
8. T.N. Mamedov, M. Balasoiu, S.G. Barsov, D. Bica, K.I. Gritsaj, V.N. Duginov, E.N. Komarov, V.P. Koptev, S.A. Kotov, C. Petrescu, G.V. Shcherbakov, L. Vekas, S.I. Vorobyev. *μ SR Study of magnetic fluids based on the Fe_3O_4 and $CoFe_2O_4$ nanoparticles dispersed in water.* 2012. **2nd European Nuclear Physics Conference**, IFIN-HH, Bucharest, Romania.

С наступающим 2013 годом!





Основа метода: угловая асимметрия e^+ относительно μ^+ из распада $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$.

В эксперименте: продольно поляризованные μ^+ останавливаются в исследуемом образце.

Измеряются:

Относительный выход e^+ : $N_e = \frac{1}{N_\mu} \int n_e(t) dt$

и временное распределение e^+ относительно момента остановки μ^+ : $n_e(t) = n_0 \cdot e^{-\frac{t}{t_\mu}} (1 + a \cdot G(t))$

$a \approx 1/3$ – коэффициент асимметрии;

$t_\mu \approx 2,19711 \cdot 10^{-6}$ с.

Из экспериментальных данных определяется:

$G(t)$ – функция релаксации спина μ^+ -мезона во внешнем магнитном поле $H_{\text{внеш}}$

или локальных магнитных полях образца (λ , H , Δ)

Несколько примеров аналитического вида функции $G(t)$: $G(t) = G_d * G_{st}$

$$G_d = e^{-(\lambda \cdot t)^\alpha}, \quad \alpha < 2 \text{ – фазовый переход;}$$

$$a) G_{st} = c \cos(\gamma_\mu \cdot H \cdot t), \quad \vec{H} \perp \vec{S}_\mu \text{ – внешнее магнитное поле;}$$

$$б) G_{st} = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \cdot c \cos(\gamma_\mu \cdot H \cdot t) \cdot e^{-\frac{(\gamma_\mu \cdot \Delta \cdot t)^\alpha}{2}}, \quad \alpha = 1 \text{ или } 2 \text{ – коллинеарный магнетик;}$$

$$в) G_{st} = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \cdot (1 + (\gamma_\mu \cdot \Delta \cdot t)^\alpha) \cdot e^{-\frac{(\gamma_\mu \cdot \Delta \cdot t)^\alpha}{2}} \text{ – спиновое стекло;}$$