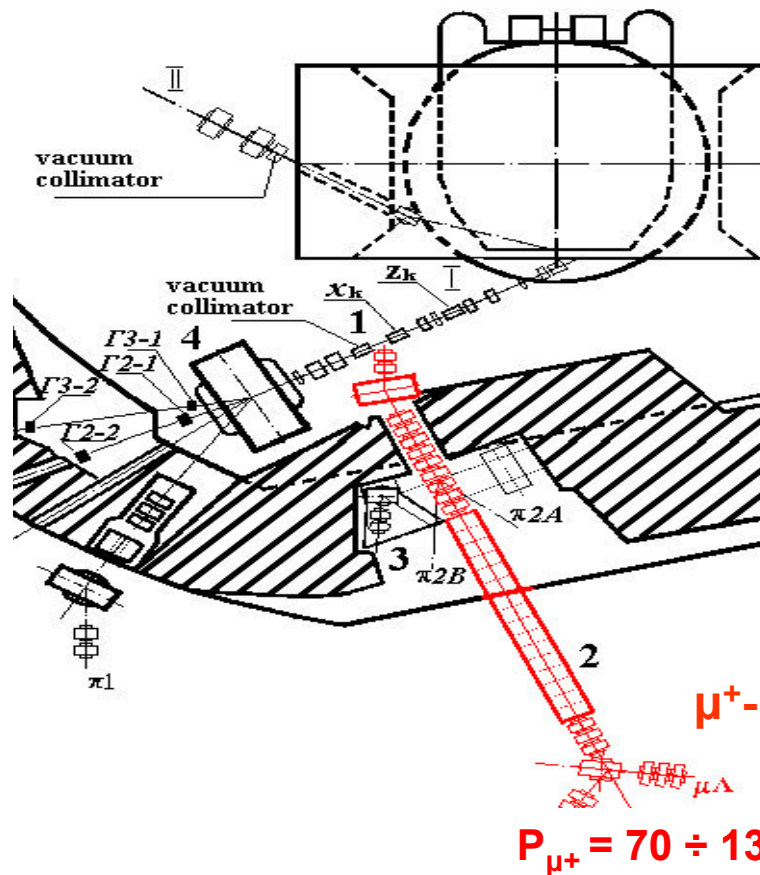
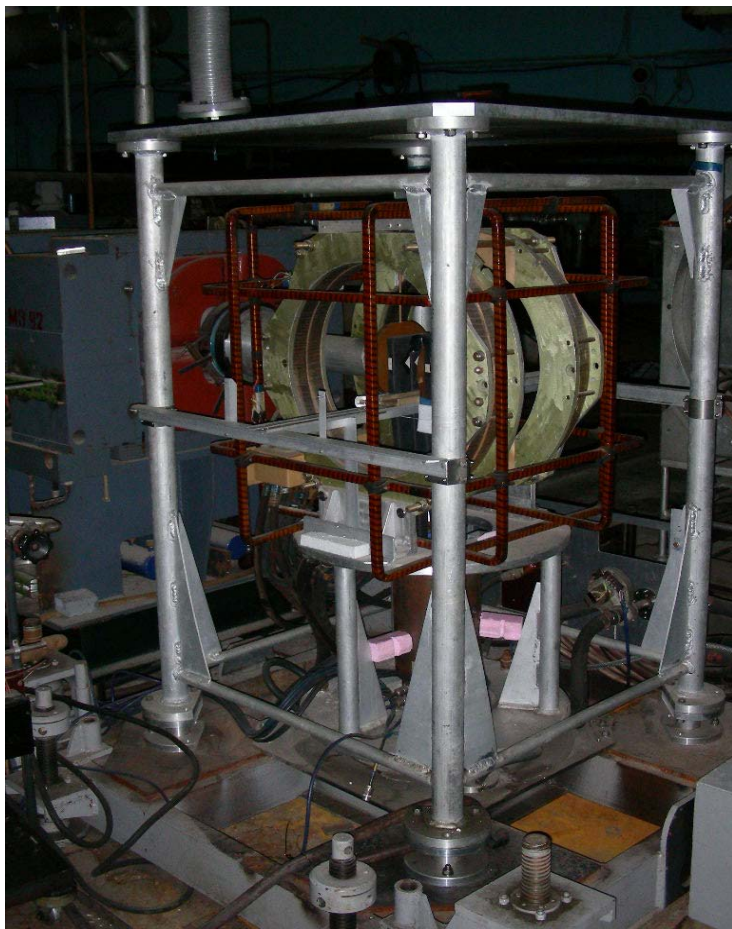


# $\mu$ SR - 2013



# В лаборатории МФКС

## два направления:

Воробьев С.И. – и.о. рук.лаб.

Виноградова Л.Л. – ст.лаб.

### **I. $\mu$ 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

Андриевский Дмитрий Сергеевич – ст.лаб. (0,5) (студент СПбГУ)

Кононов Антон Юрьевич – студент СПбГПУ

Ельцов Леонид Дмитриевич – студент СПбГПУ

### **II. Рождение мезонов в $pN$ и $pA$ – соударениях.**

**(Эксперимент ANKE, Юлих). (Доклад Барсова С.Г. 25 декабря 2013**

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.

# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ в 2013 году:

- I. Завершена обработка данных по исследованию магнитных фазовых переходов и распределению локальных магнитных полей в  $\text{GdMn}_2\text{O}_5$ . *(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. Проведены первые исследования мультиферроиков–перовскитов:  $\text{TbMnO}_3$  и  $\text{Tb}_{0.95}\text{Bi}_{0.05}\text{MnO}_3$ . *(совместно с ФТИ им. А.Ф. Иоффе (СПб)).*
- IV. Исследование свойств феррожидкостей на основе наночастиц  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ . **Приготовлены и проведены первые исследования образцов феррожидкости ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4 + \text{PAV}(2\text{DBS}) + \text{H}_2\text{O}$ ) с концентрацией наночастиц магнетита 0,3% и 3%.** *(совместно с ОИЯИ (Дубна);  
Национальный институт физики и ядерной технологии им. Х. Хулубея (Румыния);  
Центр фундаментальных и передовых технических исследований (Румыния);  
Институт исследования и развития электротехники (Бухарест, Румыния)).*
- V. Исследования электротехнических сталей «Исследование тензора магнитной текстуры». *(совместно с НИЯУ МИФИ (Москва)).*
- VI. Модернизация  $\mu\text{SR}$ -установки. *(совместно с ЛКСТ ОФВЭ).*

# Исследование мультиферроика $\text{GdMn}_2\text{O}_5$ $\mu\text{SR}$ -методом

Мультиферроик  $\text{GdMn}_2\text{O}_5$  (керамический образец и образец, составленный из большого числа хаотически ориентированных монокристаллов с линейными размерами 2–3 мм) был изучен  $\mu\text{SR}$ -методом в интервале температур 10–300К.

Обнаружены три аномалии в температурном поведении параметров функции релаксации поляризации мюонов:

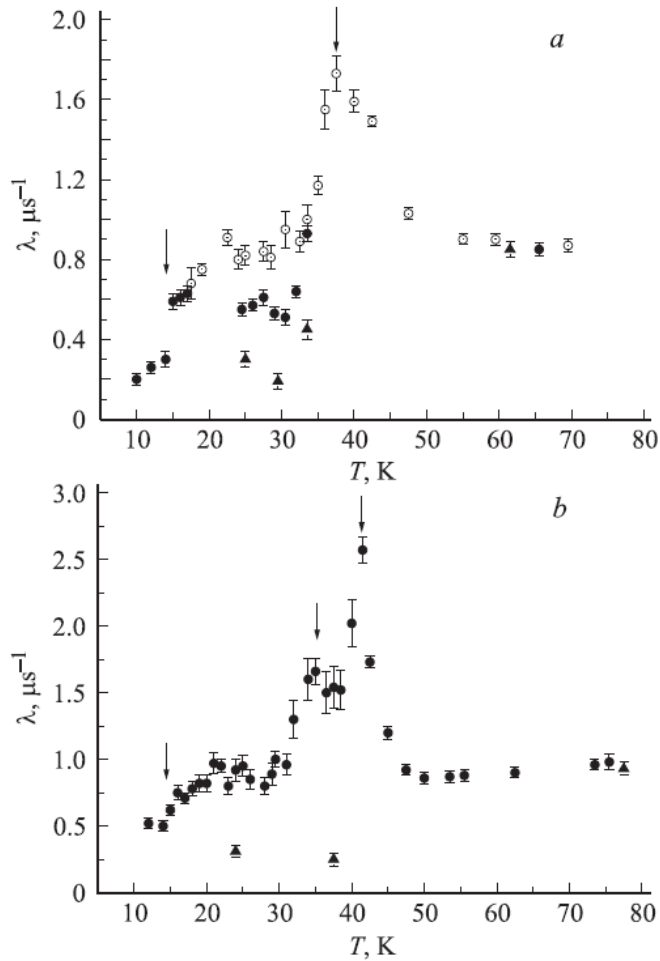
- вблизи фазового перехода, обусловленного возникновением дальнего магнитного порядка в подсистеме ионов марганца ( $T_{N1}=40-41$  К);
- вблизи lock-in-перехода, обусловленного скачкообразным изменением волнового вектора магнитного порядка ( $T_L=35$  К);
- вблизи температуры упорядочения ионов  $\text{Gd}^{3+}$  ( $T_{N2}=15$  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.

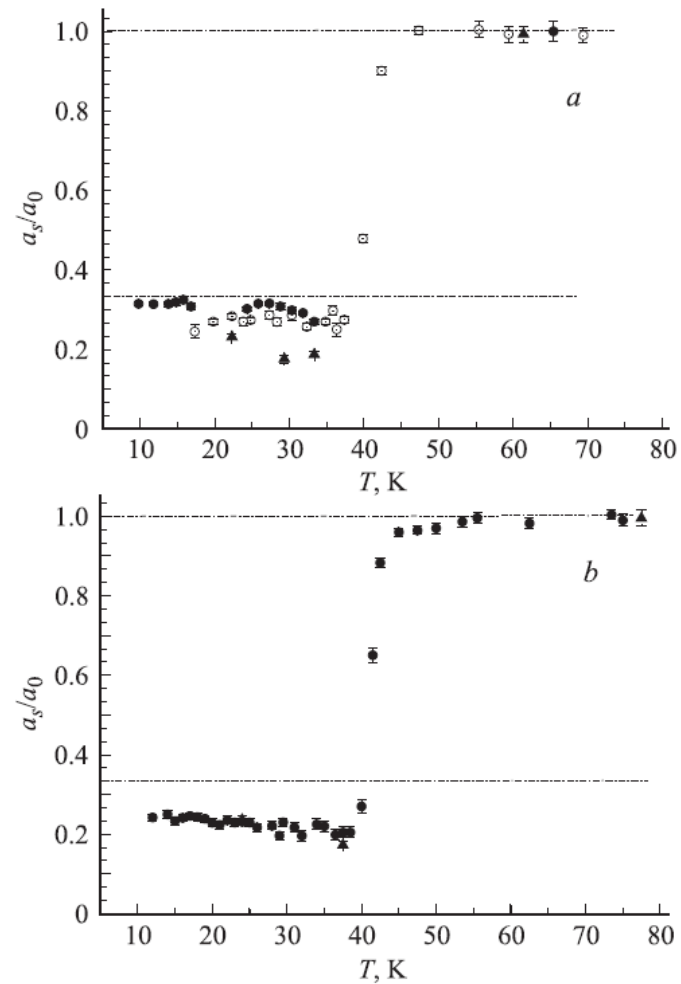
Более низкочастотная прецессия, обусловленная ионами  $\text{Mn}^{4+}$ , ферромагнитными комплексами  $\text{Mn}^{4+}-\text{Mn}^{4+}$ -мюоний(Mu) и ионами  $\text{Gd}^{3+}$ , наблюдалась во всей области температур  $T < T_{N1}$  и практически не зависела от температуры.

При температурах  $T < T_L=35$  К возникала также более высокочастотная прецессия, обусловленная ионами  $\text{Mn}^{3+}$ . Для неё характерна температурная зависимость  $(1-T/T_{N1})^\beta$  с показателем  $\beta = 0.39$ , типичная для 3D-магнетиков гейзенберговского типа.

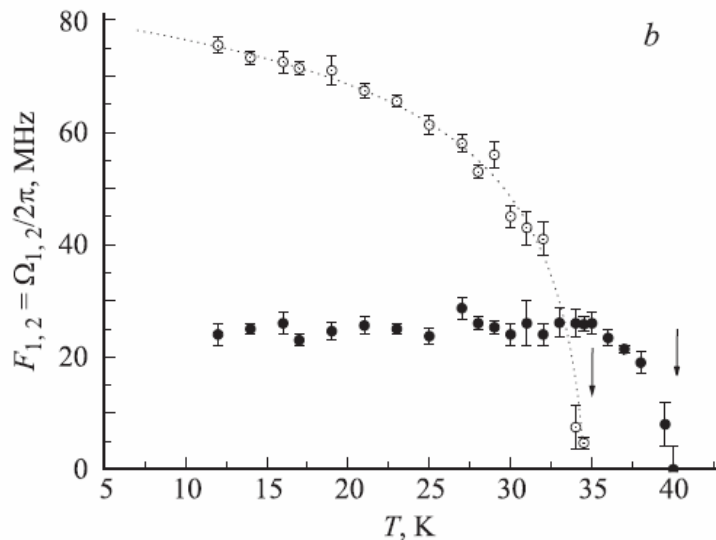
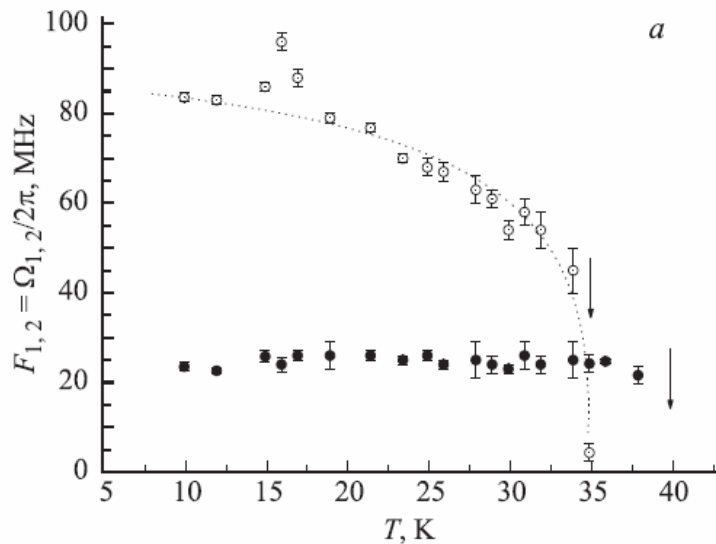
При  $T < T_{N1}$  обнаружен недостаток полной асимметрии. Это, возможно, обусловлено образованием мюония и указывает на важную роль процессов переноса заряда при формировании дальнего магнитного порядка.



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



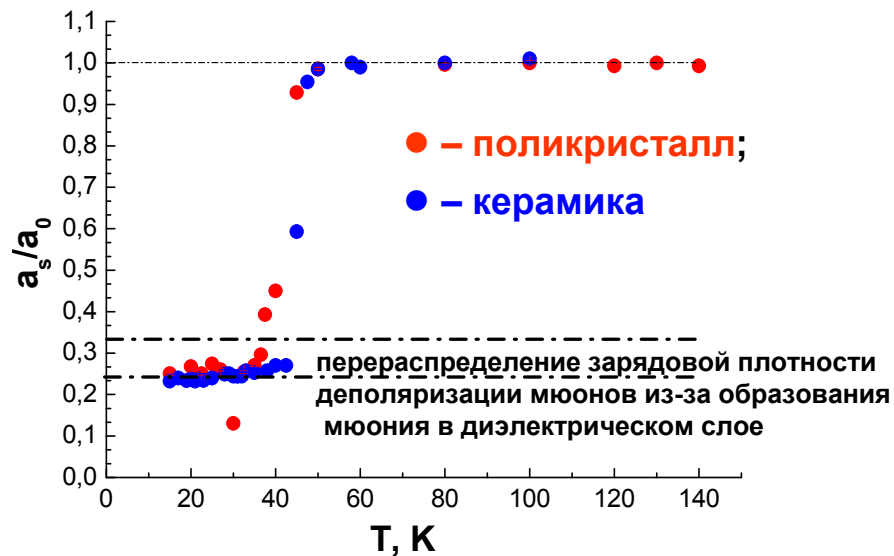
**Рис.** Температурная зависимость остаточной асимметрии  $a_s$ , нормированной к полной асимметрии  $a_0$  (*a*— керамический образец; *b* — образец из монокристаллов); уровни нормированной асимметрии  $a_s/a_0=1/3$  ( $T < T_{N1}$ ) и  $a_s/a_0=1$  ( $T > T_{N1}$ ) отмечены штрихпунктирными линиями;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



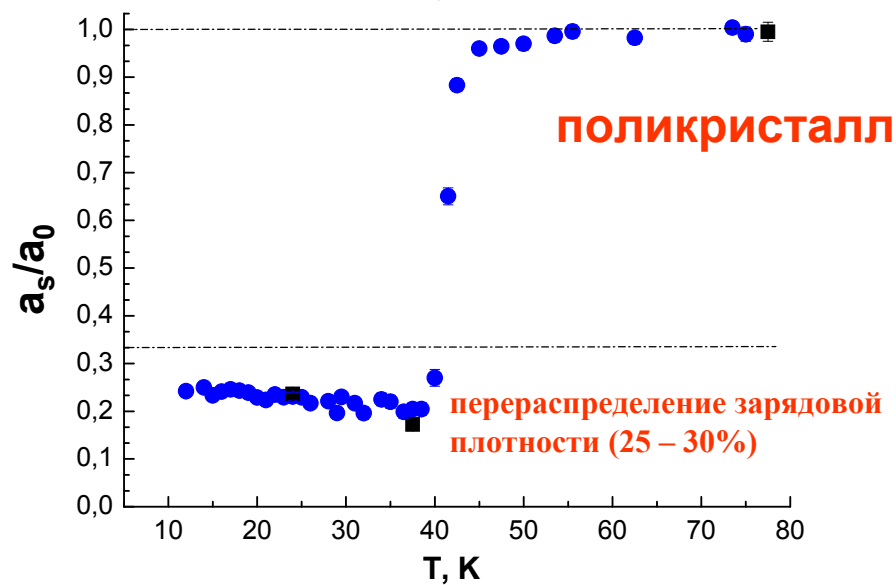
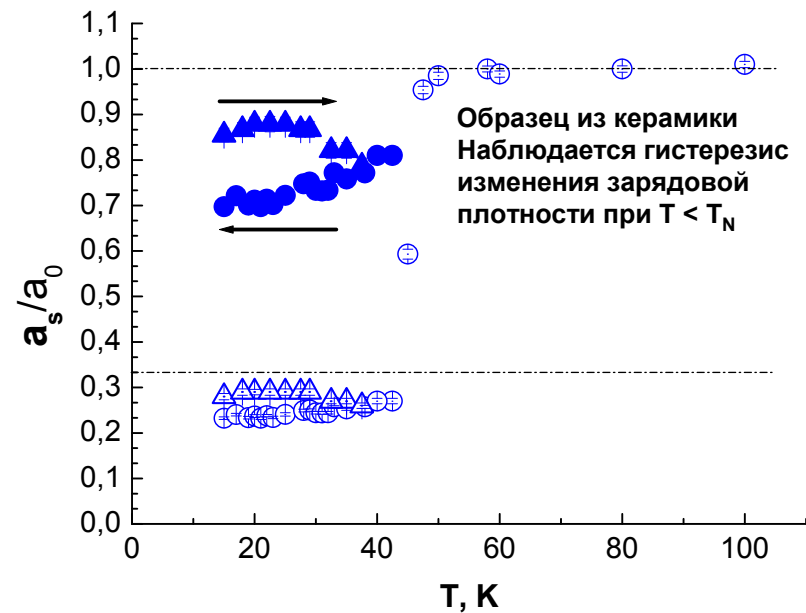
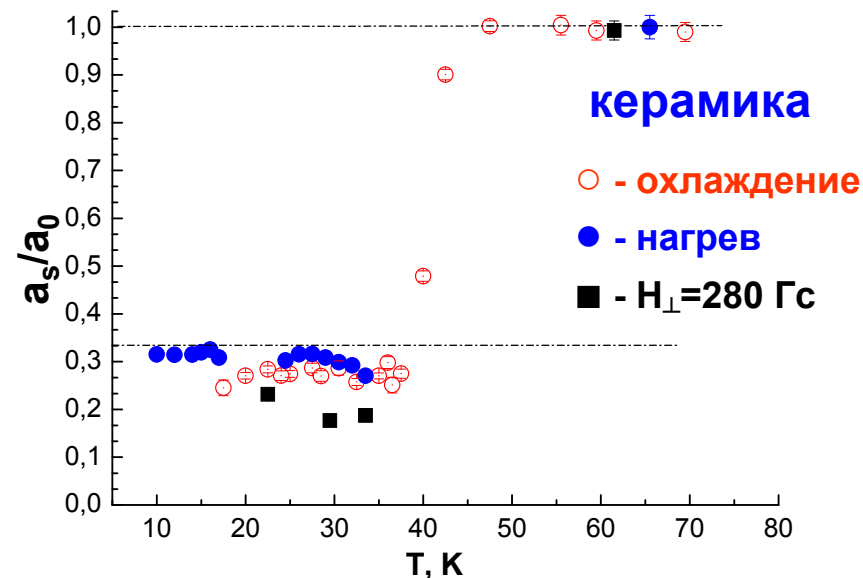
**Рис.** Температурные зависимости частот прецессии во внутреннем магнитном поле образца (*a* — керамический образец; *b* — образец из монокристаллов); темные точки относятся к частоте  $F_1$ , светлые — к частоте  $F_2$ ; стрелками отмечены температуры фазовых переходов  $T_L = 35$  К и  $T_{M1} = 40$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

ФТТ, том 55, вып. 3, 2013, стр. 422–430.  
Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013.  
VI Международная научная конференция  
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ  
ТВЕРДОГО ТЕЛА» (ФТТ-2013).  
Семинар ОФВЭ, 5 ноября 2013 года.

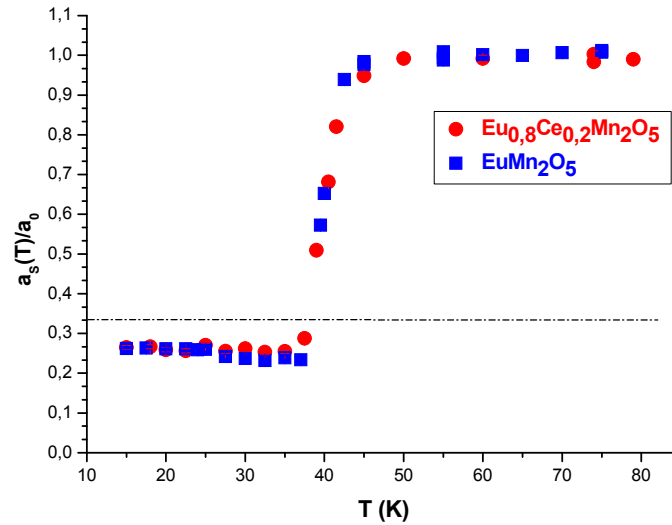
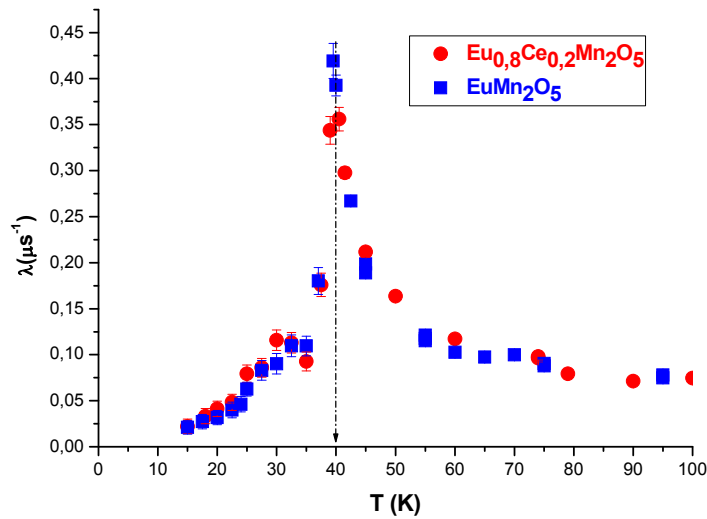
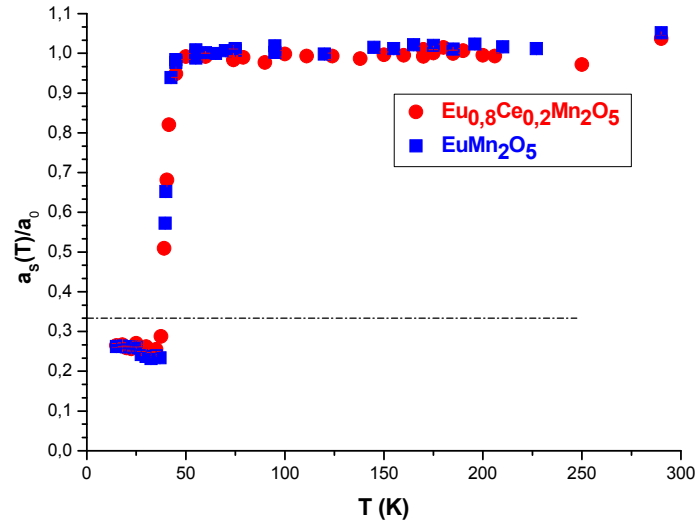
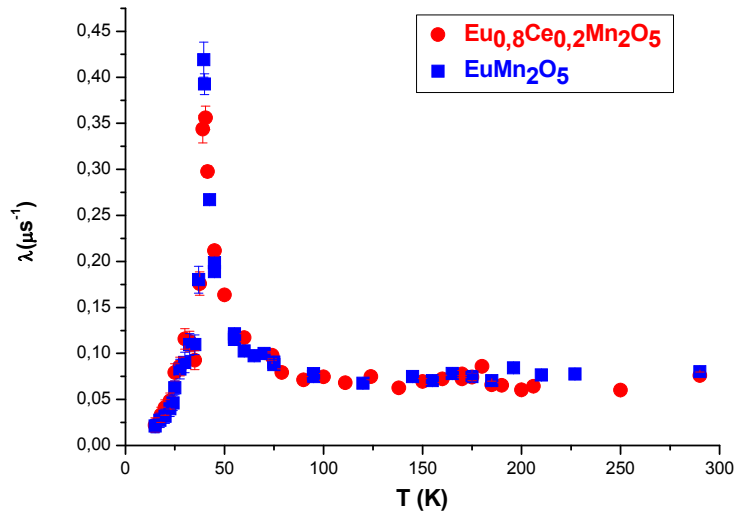
# EuMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



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



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



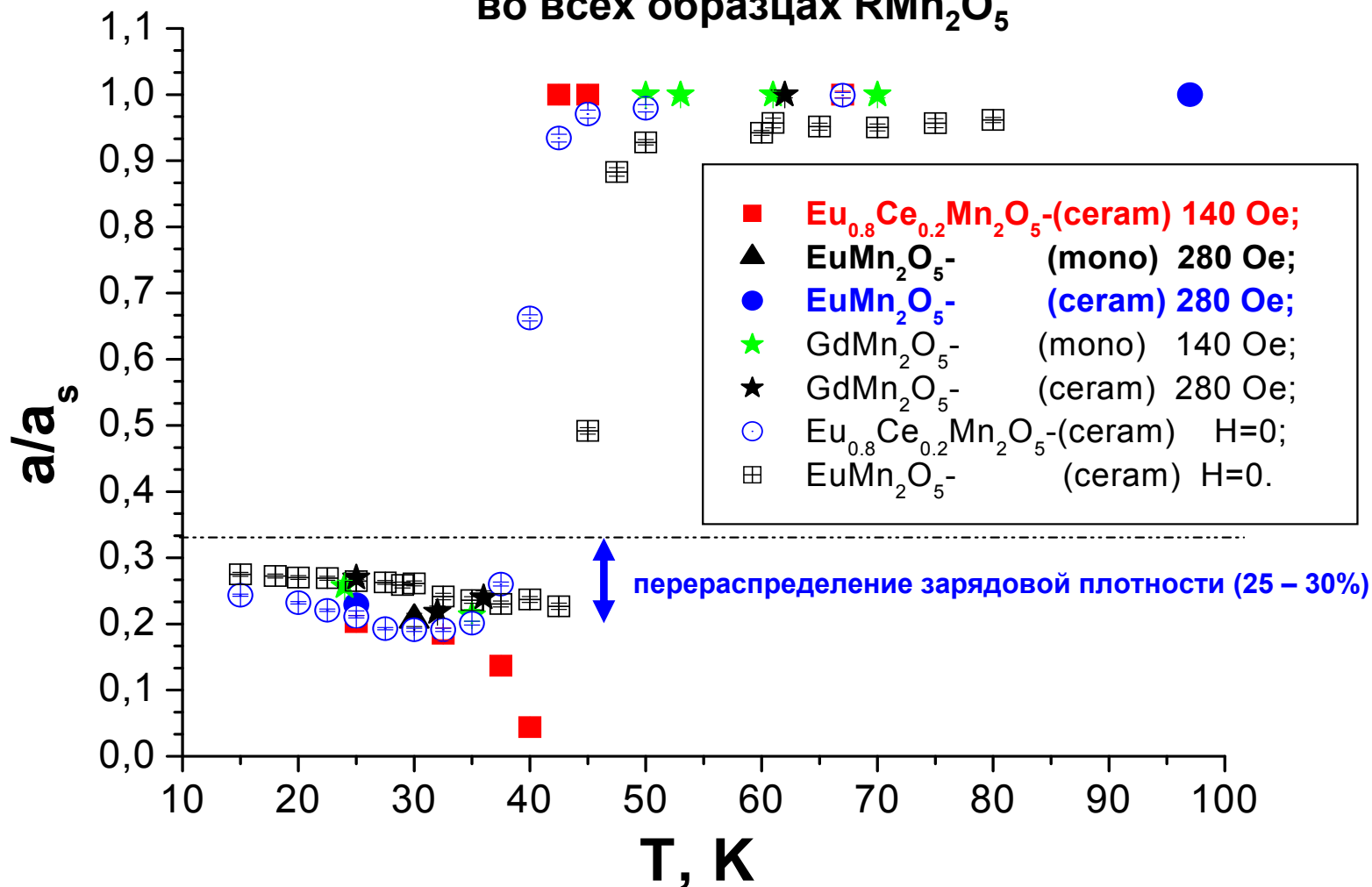
Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013.

IV Международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (MULTIFERROICS-4).

VI Международная научная конференция «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА» (ФТТ-2013).



## Перераспределение зарядовой плотности наблюдается во всех образцах $\text{RMn}_2\text{O}_5$



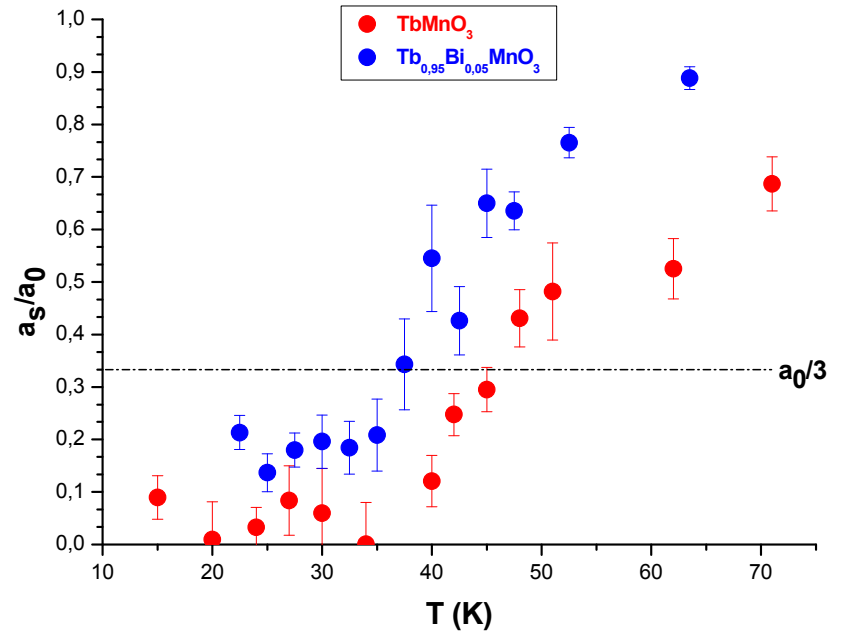
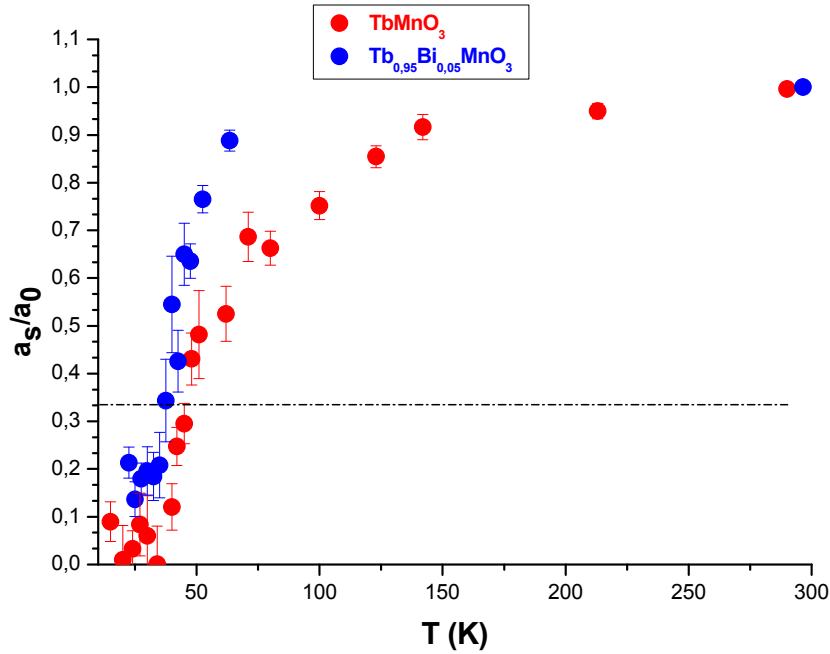
Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013.

IV Международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (MULTIFERROICS-4).

VI Международная научная конференция «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА» (ФТТ-2013).

Семинар ОФВЭ, 5 ноября 2013 года.

**TbMnO<sub>3</sub>**  
**Tb<sub>0.95</sub>Bi<sub>0.05</sub>MnO<sub>3</sub>**  
**(керамика)**

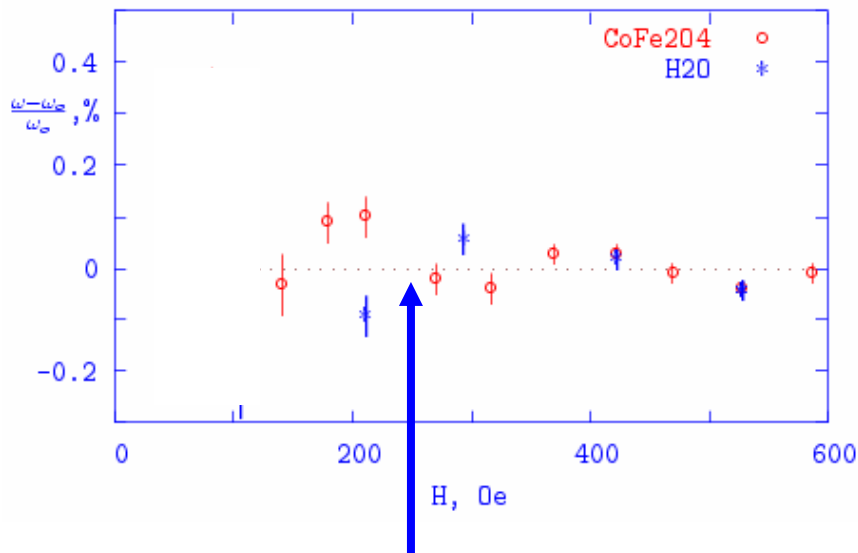


**Исследования данных образцов планируется продолжить!**

# Феррожидкость

$\text{CoFe}_2\text{O}_4 + \text{PAV}(2\text{DBS}) + \text{H}_2\text{O}$   
(концентрация  $\sim 0.3\%$ ).

Средний размер  
гранул 12 нм



Нет смещения частоты

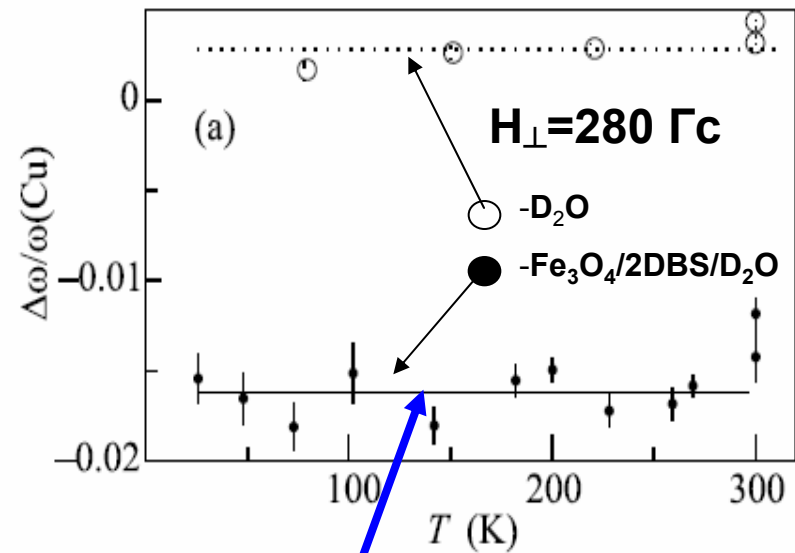
Возможные причины:

1. Более низкая концентрация (возможность  $\mu\text{SR}$ -метода);
2. Замещение атома Fe на Co.

В этом году был проведён сеанс по исследованию образца  $\text{CoFe}_2\text{O}_4 + \text{PAV}(2\text{DBS}) + \text{H}_2\text{O}$  с концентрацией  $\sim 3\%$ . Данные обрабатываются.

В дальнейшем планируется продолжить исследования данной феррожидкости, а также феррожидкостей с большей концентрацией ( $\sim 5\div 10\%$ )  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  и  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  диспергированных в воде  $\text{H}_2\text{O}$ .

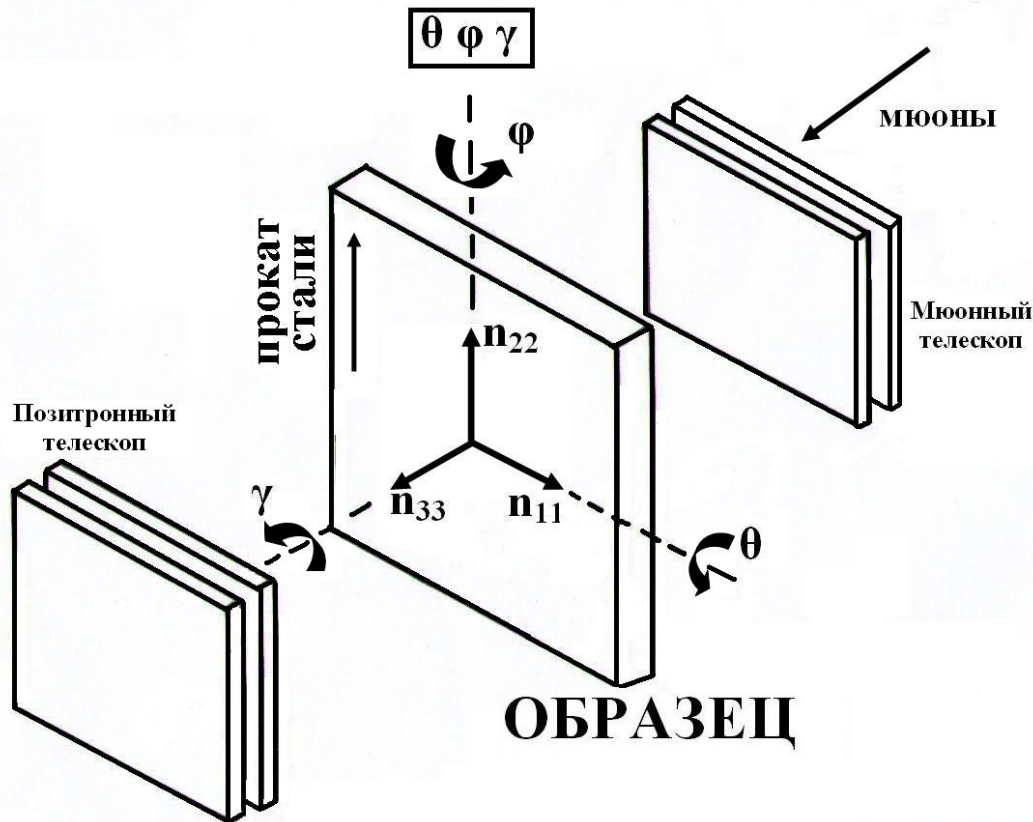
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{PAV}(2\text{DBS}) + \text{D}_2\text{O}$   
(концентрация  $\sim 4.7\%$ ).



Смещение частоты

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

# Исследования электротехнических сталей. «Исследование тензора магнитной текстуры».



Материал, марка стали	$n_{11}$	$n_{22}$	$n_{33}$
ST1 (НВ, Япония)	$0,125 \pm 0,005$	$0,798 \pm 0,032$	$0,077 \pm 0,003$
ST2 (НЛМЗ 34-15)	$0,149 \pm 0,006$	$0,785 \pm 0,031$	$0,067 \pm 0,003$
ST3 (FRANG M3H)	$0,163 \pm 0,007$	$0,763 \pm 0,031$	$0,074 \pm 0,003$
ST4 (НЛМЗ 34-07)	$0,192 \pm 0,008$	$0,708 \pm 0,028$	$0,100 \pm 0,004$
ST5 (Sweden M6)	$0,175 \pm 0,007$	$0,773 \pm 0,031$	$0,052 \pm 0,002$

## 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 дьюара).

Криорефрижератор CN-208L  
Гелиевый компрессор F-70N

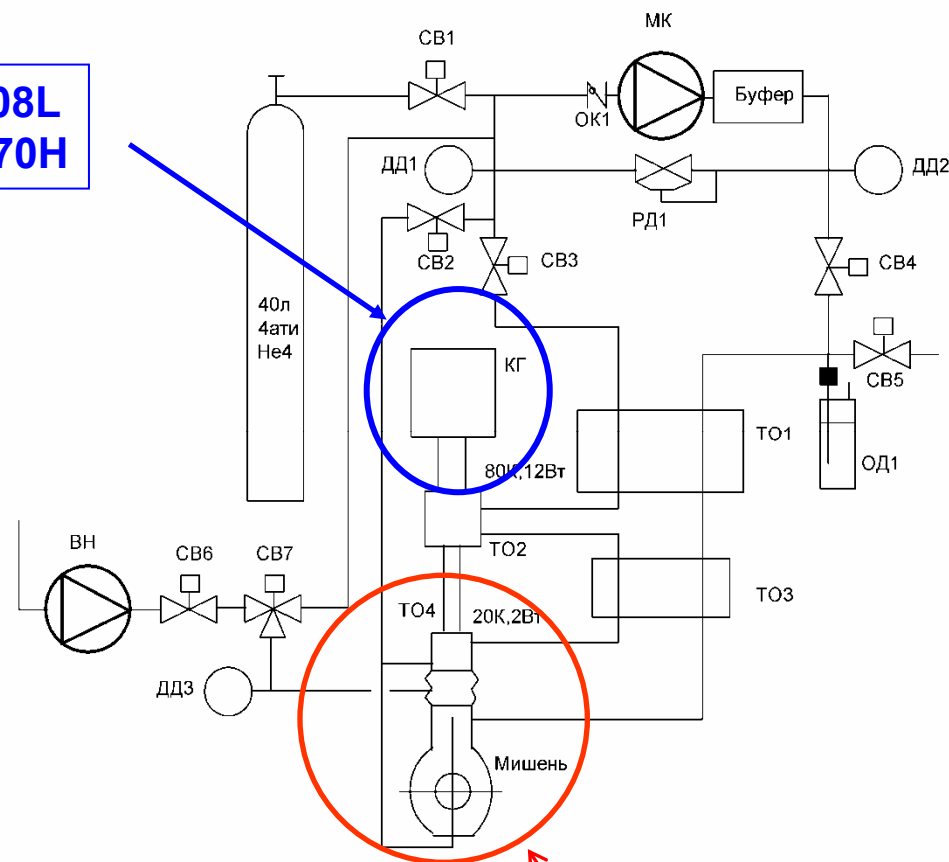
### Было приобретено

для создания «гелиевой петли»:

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

для улучшения временного разрешения  $\mu$ SR-установки и понижения чувствительности к внешнему магнитному полю:

ФЭУ фирмы Hamamatsu “R4998” с экранами магнитной защиты.



Требуется!!!

*Исследование потерь поляризации мюонов в пластических сцинтилляторах.*

Письма в ЖЭТФ, том 97, вып. 12, 2013, стр. 763 – 765.

# Планы на 2014 год:

**1. Исследование магнитных фазовых переходов и распределения локальных магнитных полей в мультиферроиках ( $\text{ErMn}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TbMn}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TbMnO}_3$  и  $\text{Tb}_{0.95}\text{Vb}_{0.05}\text{MnO}_3$ ).**

а). В  $\text{ErMn}_2\text{O}_5$  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  $\text{ErMn}_2\text{O}_5$  – взаимодействие Er–Mn существенно отличается от Gd–Mn.

б). Именно в  $\text{ErMn}_2\text{O}_5$  был зафиксирован структурный фазовый переход с изменением расстояний в цепочке ионов  $\text{Mn}^{3+}\text{--O--Mn}^{4+}$  вблизи 25 К. **Представляет интерес** изучить асимметрию в этом кристалле вблизи температуры перехода и сравнить с Eu - и Gd – образцами.

в). В  $\text{TbMn}_2\text{O}_5$  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  $\text{Mn}^{3+}$ . Как там дело обстоит с частотами прецессии.

*(Совместно с ФТИ, Санкт-Петербург).*

**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 ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  и  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  диспергированных в воде  $\text{H}_2\text{O}$ ).

*(Совместно с ОИЯИ, Дубна).*

**3. Исследование фазовых переходов в хромистых сталях с помощью  $\mu\text{SR}$ –метода, а также определения зависимости величины внутренних локальных магнитных полей от способа обработки и приготовления.**

**На данный момент приготовлено 12 образцов.** *(Совместно с НИЯУ МИФИ, Москва).*

**4. Продолжение модернизации установки.** *(Совместно с ЛКСТ ОФВЭ).*

## Список публикаций за 2013 год ( $\mu$ SR-метод):

1. 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  $GdMn_2O_5$   $\mu$ SR-методом.* ФТТ, том 55, вып. 3, 2013, стр. 422–430.
- S.I. Vorob'ev, A.L. Getalov, E.I. Goloventchits, E.N. Komarov, V.P. Koptev, S.A. Kotov, I.I. Pavlova, V.A. Sanina, and G.V. Shcherbakov. *Investigation of the  $GdMn_2O_5$  multiferroic by the  $\mu$ SR method.* **Physics of the Solid State**, Vol. 55, № 3 (2013), pp. 466 – 475.
2. С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.И. Головенчиц, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, И.И. Павлова, А.Э. Морослип, В.А. Санина, Г.В. Щербаков. *Исследование мультиферроика  $Eu_{0,8}Ce_{0,2}Mn_2O_5$  с помощью  $\mu$ SR-метода.* **Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013.** Москва. Аннотации докладов, том 1, стр.183.
3. С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, И.И. Павлова, А.Э. Морослип, Г.В. Щербаков. *Исследование магнитных фазовых переходов и распределений локальных магнитных полей в манганитах редкоземельных металлов  $\mu$ SR-методом.* **Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013.** Аннотации докладов, том 1, стр.182.
4. С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, И.И. Павлова, А.Э. Морослип, А.Ю. Мищенко, В.Ю. Милосердин, Г.В. Щербаков. *Исследование ферритно-мартенситных сталей с помощью  $\mu$ SR-метода.* **Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013.** Аннотации докладов, том 1, стр.182.
5. С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, И.И. Павлова, А.Э. Морослип, Г.В. Щербаков *Исследование потерь поляризации мюонов в пластических сцинтилляторах и кварце  $\mu$ SR-методом.* **Письма в ЖЭТФ**, том 97, вып. 12, 2013, стр. стр. 763 – 765.
- S.I. Vorob'ev, A.L. Getalov, E.N. Komarov, S.A. Kotov, I.I. Pavlova, A.E. Moroslip and G.V. Shcherbakov. *Muon Spin Rotation Study of Muon Polarization Losses in Plastic Scintillators and Quartz.* **JETP Letters**, 2013, Vol. 97, № 12, pp.661 – 663.
6. Воробьев С.И., Геталов А.Л., Головенчиц Е.И., Комаров Е.Н., Котов С.А., Павлова И.И., Морослип А.Э., Санина В.А., Щербаков Г.В. *Исследование мультиферроика  $GdMn_2O_5$  с помощью  $\mu$ SR-метода.* **VI Международная научная конференция «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА» (ФТТ-2013):** сборник докладов Международной научной конференции, Минск, 15-18 октября 2013 г. В трех томах. Т. 1, стр. 118-120.
7. Воробьев С.И., Геталов А.Л., Головенчиц Е.И., Комаров Е.Н., Котов С.А., Павлова И.И., Морослип А.Э., Санина В.А., Щербаков Г.В. *Исследование мультиферроика  $Eu_{0,8}Ce_{0,2}Mn_2O_5$  с помощью  $\mu$ SR-метода.* **VI Международная научная конференция «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА» (ФТТ-2013):** сборник докладов Международной научной конференции, Минск, 15-18 октября 2013 г. В трех томах. Т. 1, стр. 227-229.
8. 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.  *$\mu$ SR- INVESTIGATIONS AT PNPI.* В сборнике ОФВЭ «**HEPD: Main scientific activity 2007–2012**», pp. 266–272, Gatchina – 2013.
9. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. *Исследование фазовых переходов в сплавах  $(Pd_{1-x}Fe_x)_{0.95}Mn_{0.05}$  и  $Cu_{(1-x)}Mn_x$  с помощью  $\mu$ SR-метода.* **IV Международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (MULTIFERROICS-4).** 4-7 сентября 2013 г г.Ростов-на-Дону- г. Туапсе, Краснодарский край.
10. Воробьев С.И., Геталов А.Л., Головенчиц Е.И., Комаров Е.Н., Котов С.А., Павлова И.И., Морослип А.Э., Санина В.А., Щербаков Г.В. *Исследование мультиферроика  $Eu_{0,8}Ce_{0,2}Mn_2O_5$  с помощью  $\mu$ SR-метода.* **IV Международный, междисциплинарный симпозиум «Среды со структурным и магнитным упорядочением» (MULTIFERROICS-4).** 4-7 сентября 2013 г г.Ростов-на-Дону- г. Туапсе, Краснодарский край.

# С наступающим 2014 годом!

