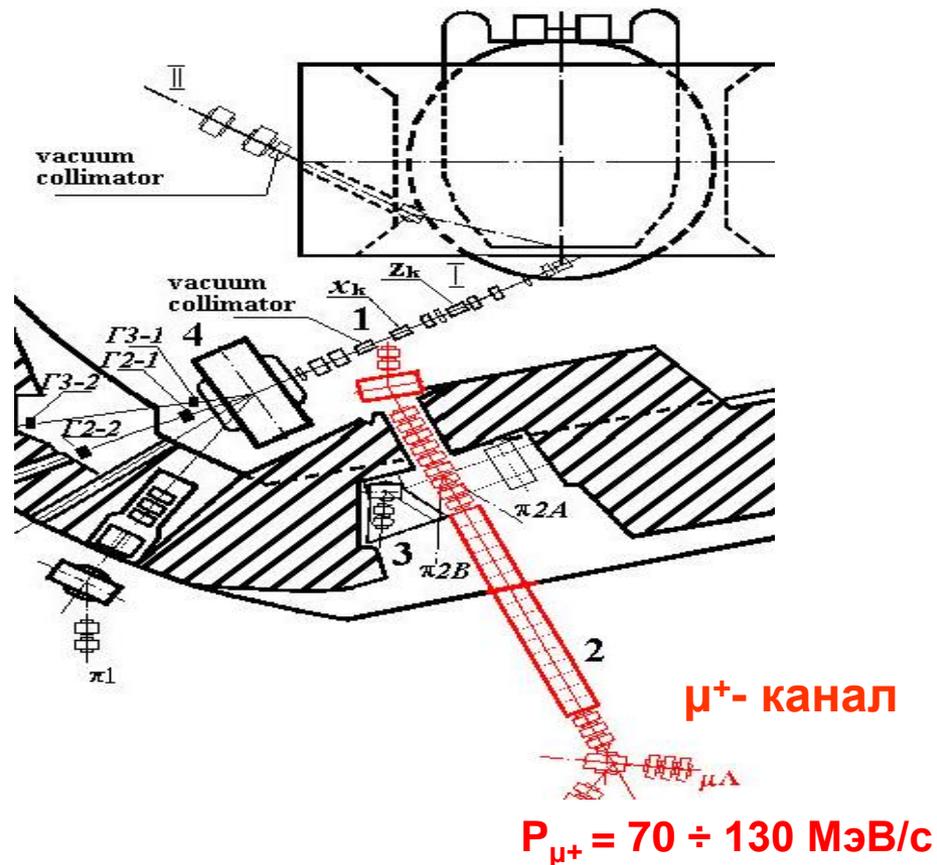
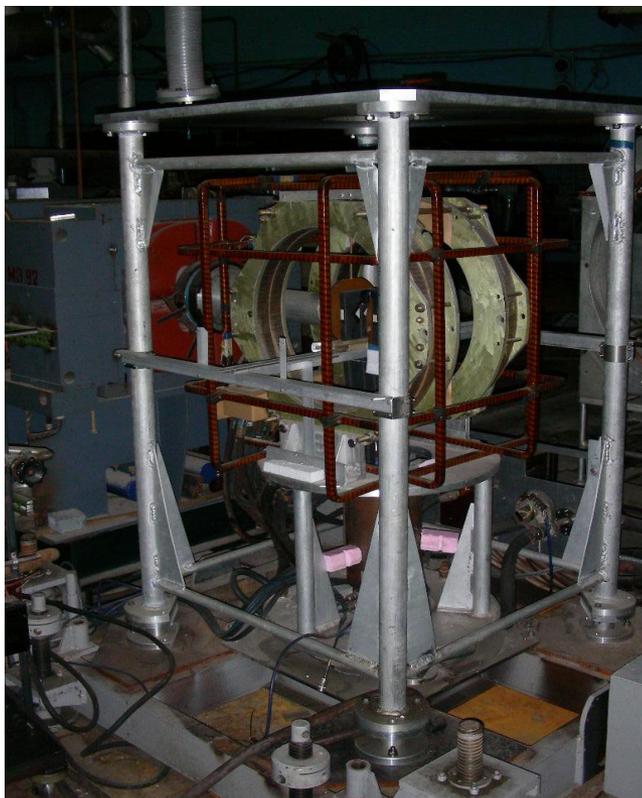


Лаборатория мезонной физики конденсированных сред в 2016 году



Штат лаборатории МФКС:

I. μ SR- исследования на СЦ-1000 ПИЯФ.

Воробьев С.И.	– и.о. зав.лаб., к.ф.-м.н.
Щербаков Геннадий Васильевич	– с.н.с.
Геталов Александр Леонидович	– с.н.с., к.ф.-м.н.
Комаров Евгений Николаевич	– с.н.с., к.ф.-м.н.
Котов Сергей Арестович	– н.с.
Андриевский Дмитрий Сергеевич	– аспирант СПбГУ (0,5 лаб.-исслед.)

II. Сотрудничество с ИКР (FZ-Juelich).

Барсов Сергей Григорьевич	– с.н.с., к.ф.-м.н.
Вальдау Юрий Валерьевич	– н.с.
Микиртычьянц Сергей Михайлович	– с.н.с., к.ф.-м.н.
Ельцов Леонид Дмитриевич	– стажер-исследователь
Дзюба Алексей Александрович	– с.н.с., к.ф.-м.н.

Виноградова Людмила Леонидовна	– ст.лаб.
Чёрная Елена Николаевна	– ст.лаб.

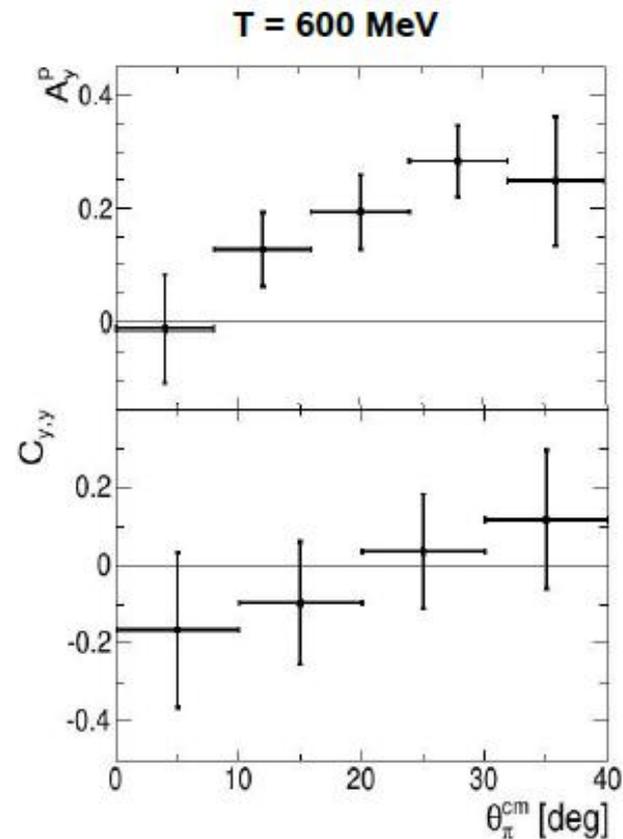
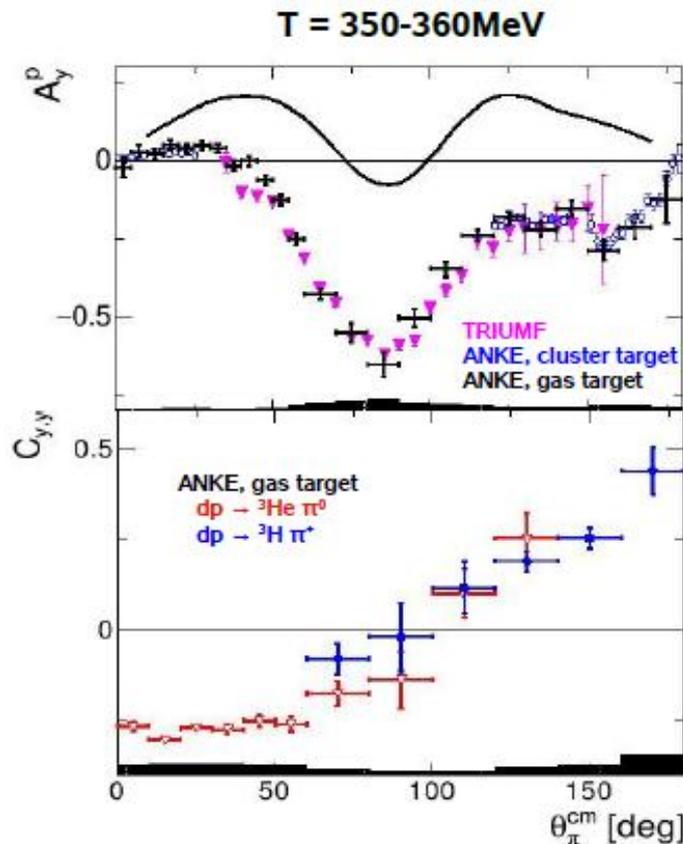
Уволились в 2016 году:

Морослип А.Э. – м.н.с.
Кононов А.Ю. – ст.лаб.

ЛМФКС: Сотрудничество с ИКР(FZ-Juelich)

ANKE-collaboration: анализ накопленных данных (этап 2016 г.)

Завершен анализ данных по рождению пионов в $pd \rightarrow {}^3\text{He} \pi^0 / {}^3\text{H} \pi^+$ реакциях

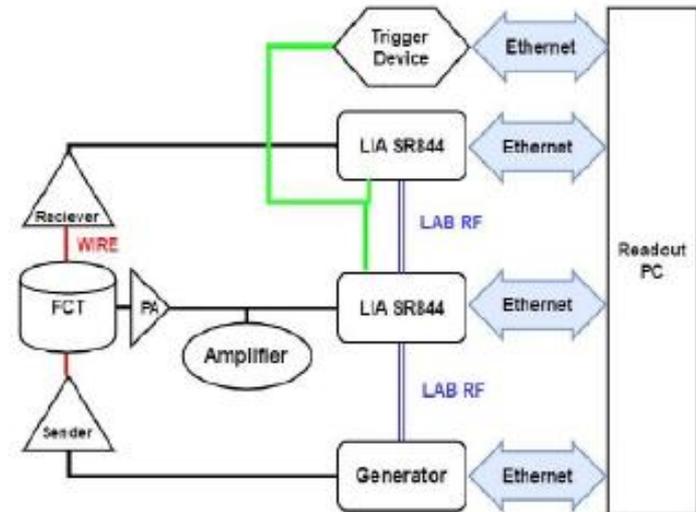
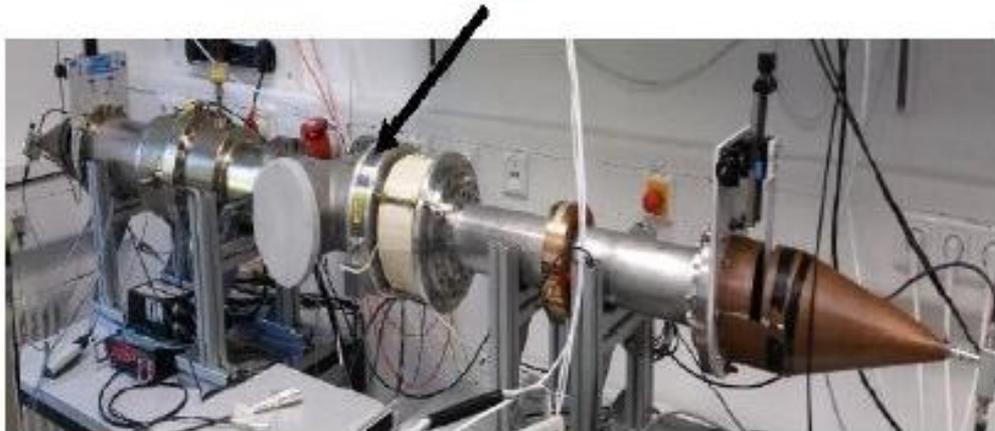


Результаты, измеренные в разных условиях, хорошо согласуются. Впервые получены спин-корреляционные коэффициенты, что, в комбинации с известной тензорной анализирующей способностью дейтрона, позволяет определить относительную фазу амплитуд при $\Theta^{\text{cm}} = 0^\circ(180^\circ)$

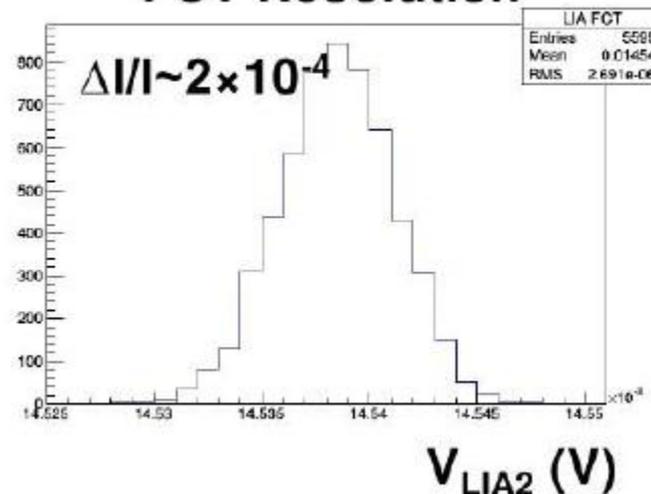
TRIC-experiment: лабораторные испытания измерителя тока пучка (этап 2016г.)

Завершено создание испытательного стенда и системы считывания и калибровки

Fast Current Transformer (FCT)



FCT Resolution

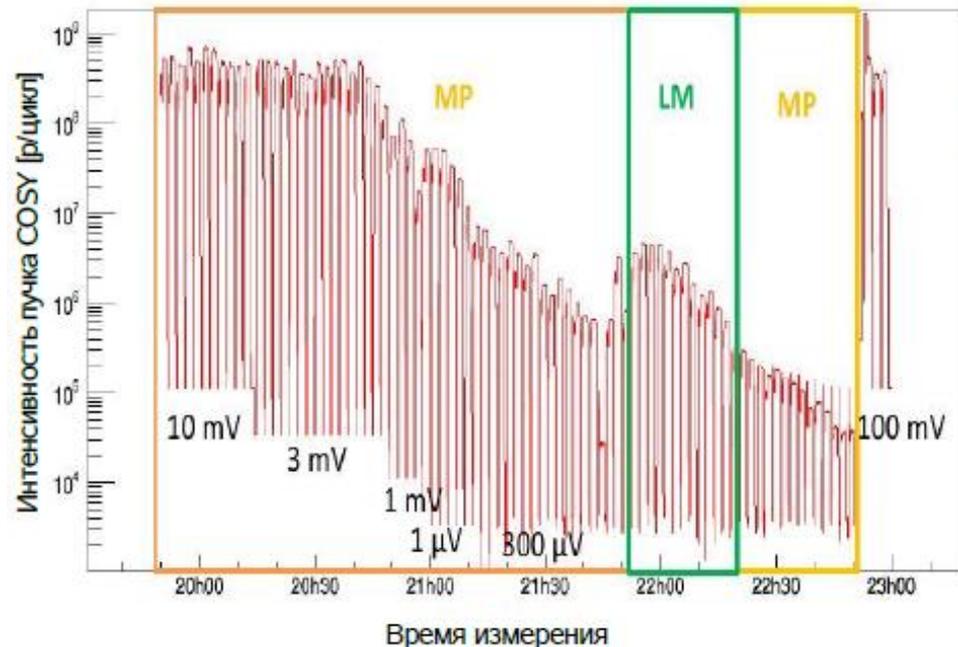


Разрешение близко к требуемому ($\sim 10^{-4}$) и может быть улучшено за счет термостабилизации FCT и электроники.

TRIC-experiment: тестовые измерения на ускорителе COSY (этап 2016г.)

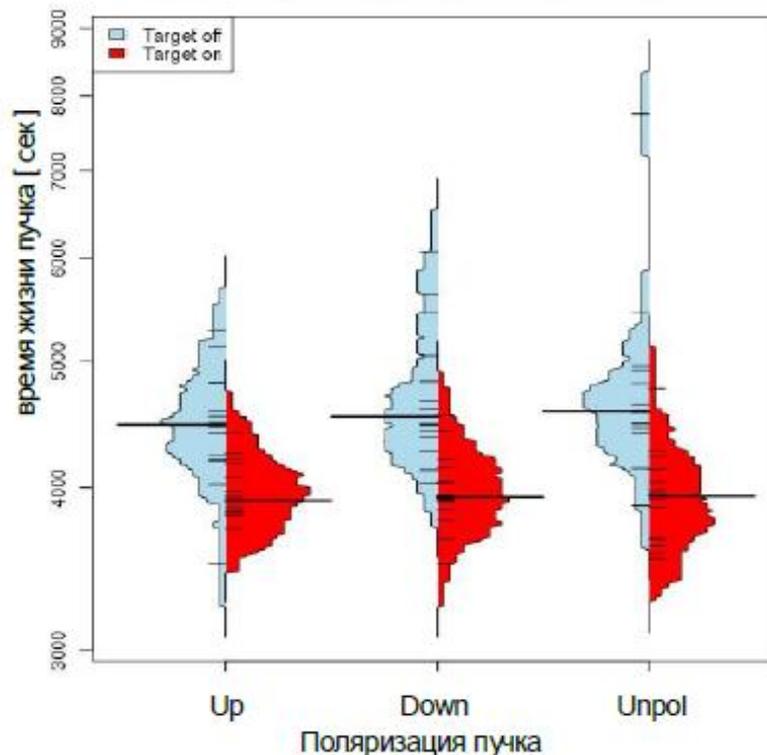
Проведена проверка работоспособности FCT и электроники в реальных условиях.

Проверка динамического диапазона FCT



FCT устойчиво работает при изменении интенсивности пучка на 4 порядка.

Оценка $A_{yy}(\Theta=0^\circ)$ по времени жизни пучка при разной ориентации поляризации пучка и газовой водородной поляризованной мишени.



Получено: $A_{yy} = 0.04 \pm 0.03$

Теор. расчет: $A_{yy} = 0.05$ (Yu.Uzikov, PRC 92 014002(2015))

ЛМФКС: Сотрудничество с ИКР(FZ-Juelich)

Публикации за 2016 год

1. S. Dymov,..., S. Barsov, S. Mikirtychyants, Yu. Valdau et.al.,
Coherent pion production in proton-deuteron collisions. Phys. Lett. B 762, 102 (2016).
2. V. Komarov,..., S. Mikirtychyants, Yu. Valdau et.al.,
Evidence for excitation of two resonance states in the isovector two-baryon system with a mass of 2.2 GeV/c². Phys. Rev. C 93, 065206 (2016).
3. D. Mchedlishvili,..., S. Barsov, S. Mikirtychyants, Yu. Valdau et.al.,
Measurement of the absolute differential cross section of proton-proton elastic scattering at small angles. Phys. Lett. B 55, 92 (2016).

Магистерские работы, СПбПУ (2016 г.)

1. Л.Д. Ельцов. *Разработка и введение в эксплуатацию системы измерения тока банчируванного пучка на ускорителе COSY. Премия имени И. В. Курчатова за 2016 год среди студенческих работ.*
2. А.Ю.Кононов. *Front-end электроника ядерно-физической установки РАХ для исследования взаимодействия поляризованных частиц.*

Л.Д. Ельцов. *Разработка и введение в эксплуатацию системы измерения тока банчируванного пучка на ускорителе COSY. Устный доклад на XIV Курчатовской междисциплинарной молодежной научной школе.*

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ в 2016 году:

1. Завершен анализ экспериментальных данных по исследованию магнитных фазовых переходов, и распределению локальных магнитных полей в мультиферроиках $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ и EuMn_2O_5 .

(Совместно с ФТИ, Санкт-Петербург).

Статья в журнале «ЖЭТФ».

2. Продолжался анализ данных и набор статистики по исследованию образца перовскитной керамики $\text{Tb}_{0.95}\text{V}_{0.05}\text{MnO}_3$ и манганита TbMnO_3 .

(Совместно с ФТИ, Санкт-Петербург).

3. Проводился анализ накопленных данных и проведен очередной цикл исследований образца феррожидкости на основе CoFe_2O_4 диспергированных в воде H_2O .

(Совместно с ОИЯИ, Дубна;

Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania;

Politehnica University of Bucharest, Romania).

4. Продолжалась модернизация μSR-установки.

(Совместно с ЛКСТ ОФВЭ).

Исследование мультиферроиков $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ и EuMn_2O_5 с помощью μSR -метода

С помощью μSR -метода проведено сравнительное исследование керамических образцов мультиферроиков EuMn_2O_5 и $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ в области температур от 15 К до 300 К. Обнаружено, что легирование образца EuMn_2O_5 ионами церия приводит к незначительному понижению температуры магнитного фазового перехода — от $T_N = 45$ К для образца EuMn_2O_5 до $T_N = 42.5$ К для образца $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$.

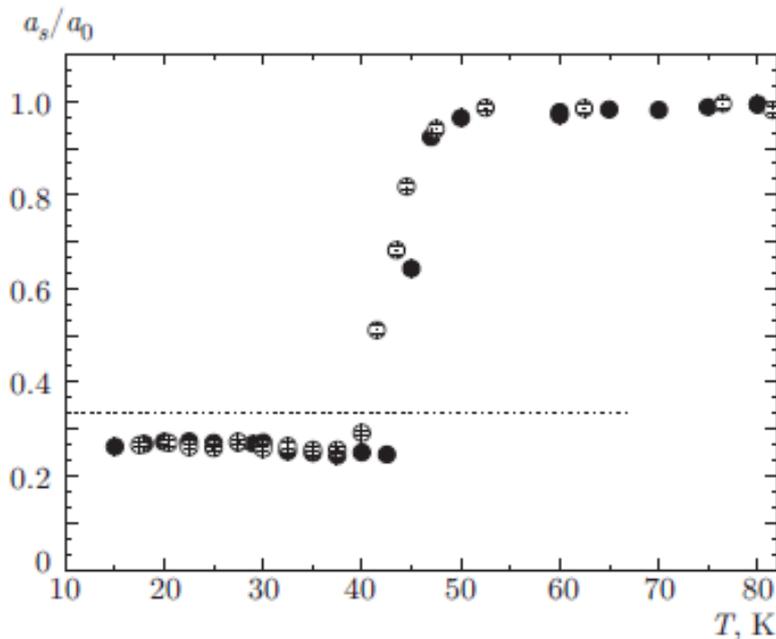


Рис. 1. Температурная зависимость нормированной остаточной асимметрии для образцов ЕСМО (светлые точки) и ЕМО (темные точки) в режиме RUN1; пунктирной линией отмечен уровень $a_s/a_0 = 1/3$

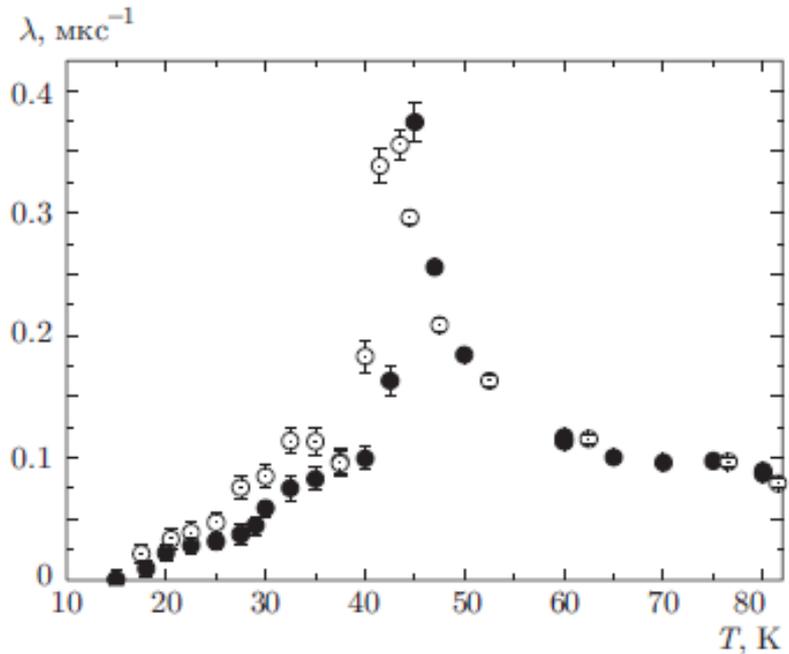


Рис. 2. Температурная зависимость скорости релаксации полярizations мюонов, остановившихся в образцах ЕСМО (светлые точки) и ЕМО (темные точки), в режиме RUN1

Ниже температуры T_N для обоих образцов существуют два типа локализации термализованного мюона с разной температурной зависимостью частоты прецессии магнитного момента мюона во внутреннем магнитном поле. Более высокая частота в обоих образцах относится к исходной антиферромагнитной матрице. Поведение этой частоты в $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ следует закону Кюри – Вейса с показателем $\beta=0.29\pm 0.02$, заметно отличным от стандартной для 3D-магнетиков гейзенберговского типа величины $\beta = 0.39$, наблюдаемой в EuMn_2O_5 , что связано с сильной фрустрацией легированного образца. Более низкая, не зависящая от температуры, частота обусловлена наличием ферромагнитных пар $\text{Mn}^{3+}-\text{Mn}^{4+}$, расположенных как вдоль оси b антиферромагнитной матрицы, так и в областях фазового расслоения, содержащих такие пары ионov и перезаряжающие их e_g -электроны.

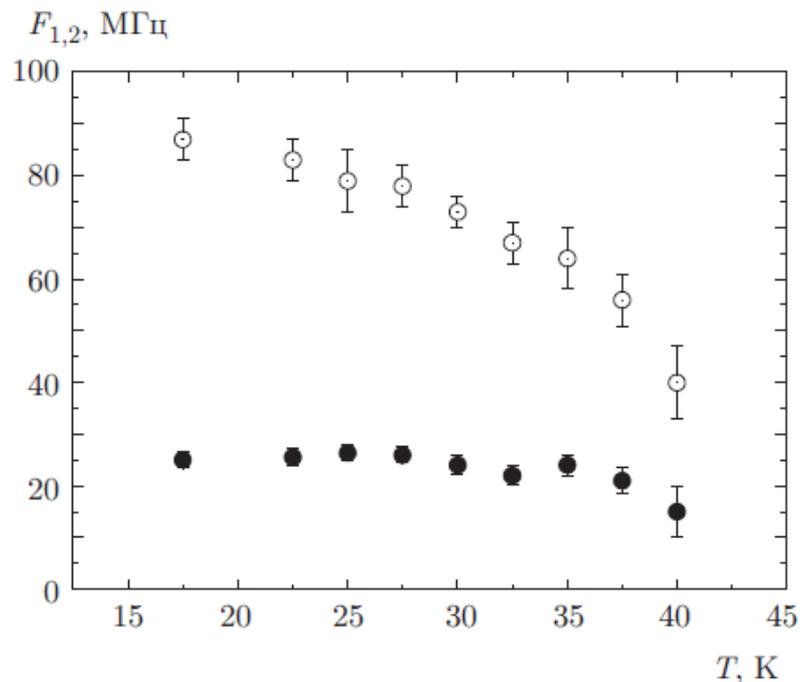


Рис. 8. Температурная зависимость двух наблюдаемых частот прецессии спина мюона для образца ЕСМО, измеренная в режиме RUN2 (F_1 — темные точки, F_2 — светлые точки)

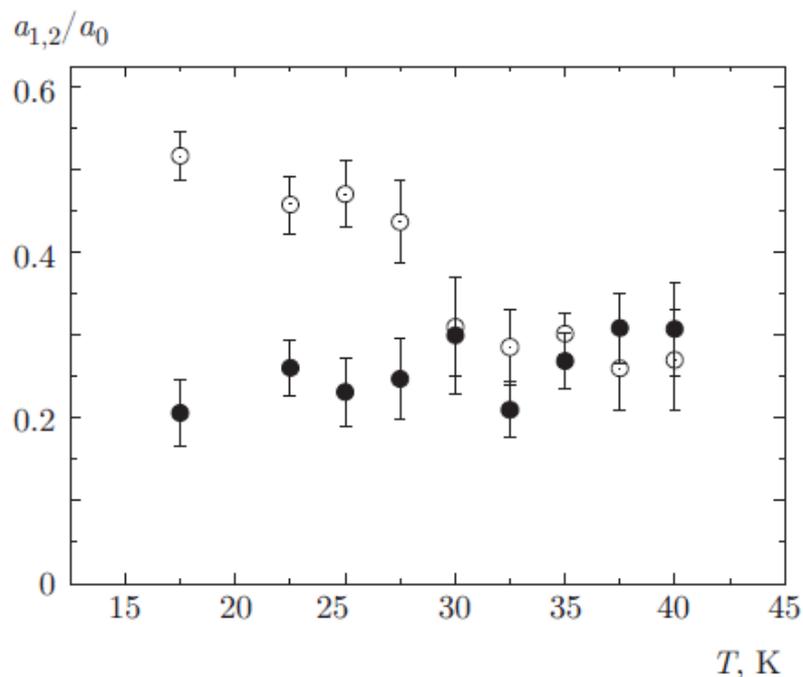


Рис. 10. Парциальные амплитуды частот прецессии спина мюона для образца ЕСМО, измеренные в режиме RUN2: a_1/a_0 — темные точки, a_2/a_0 — светлые точки

В обоих образцах обнаружены одинаковые потери поляризации (около 20 %), связанные с образованием мюниевых комплексов $Mn^{4+}-Mn^{4+}+Mu$ вблизи ферромагнитных пар $Mn^{3+}-Mn^{4+}$. В интервале температур от 25 К до 45 К обнаружено расслоение структуры $Eu_{0.8}Ce_{0.2}Mn_2O_5$ на две фракции с различающимися на порядок скоростями релаксации поляризации мюонов. Этот эффект обусловлен изменением состояния областей фазового расслоения (1D-сверхрешеток) при указанных температурах. Такой эффект в $EuMn_2O_5$ значительно ослаблен.

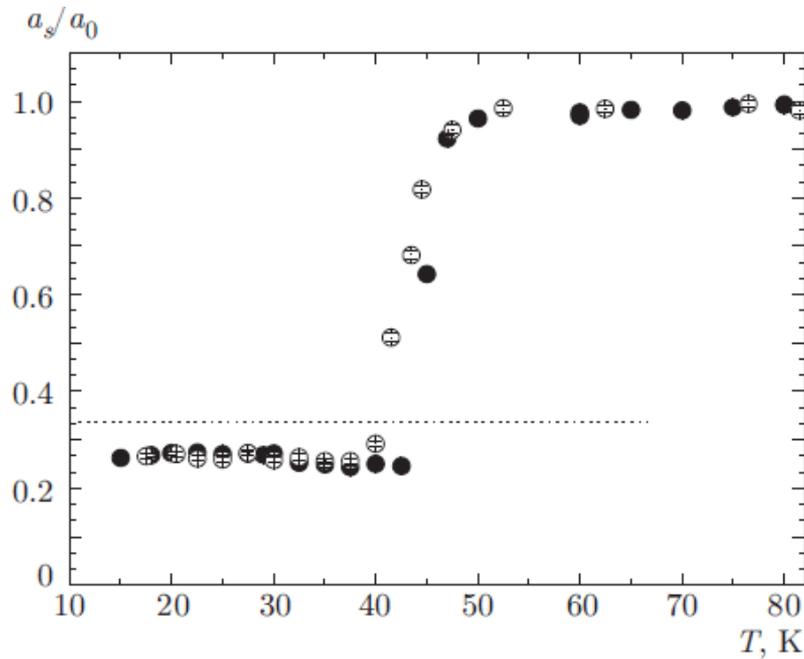


Рис. 1. Температурная зависимость нормированной остаточной асимметрии для образцов ЕСМО (светлые точки) и ЕМО (темные точки) в режиме RUN1; пунктирной линией отмечен уровень $a_s/a_0 = 1/3$

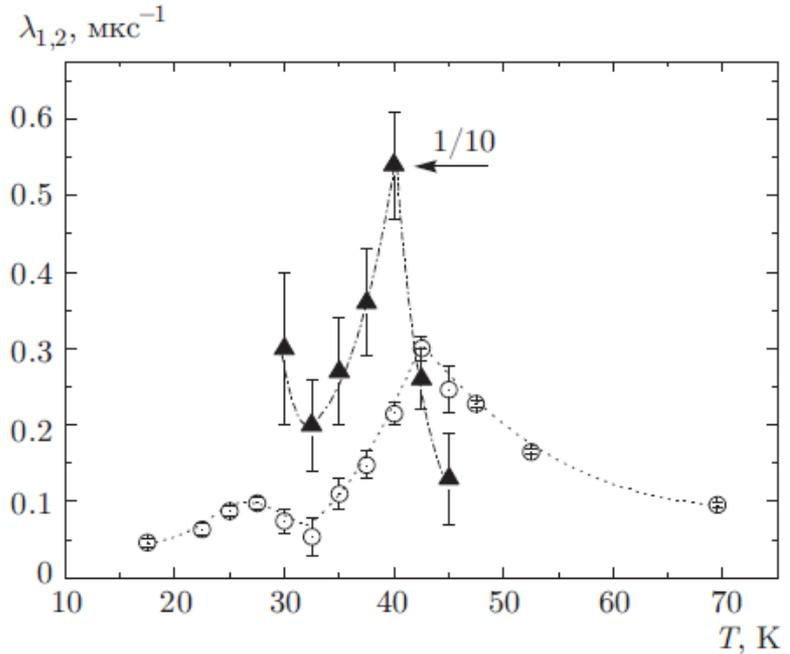
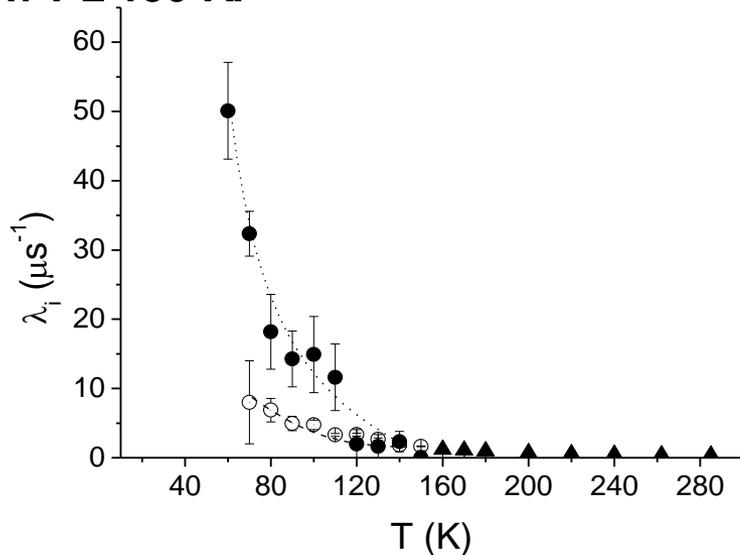


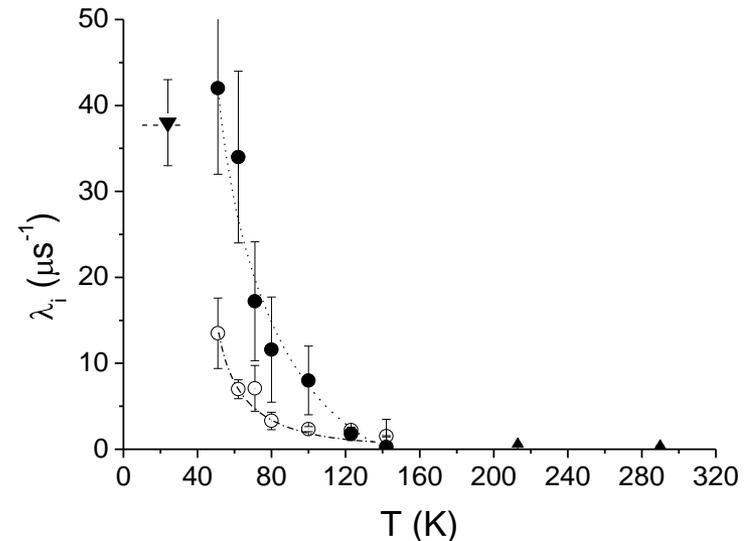
Рис. 5. Эффект расслоения образца ЕСМО по скоростям релаксации поляризации мюонов в режиме измерения RUN2; светлые точки — медленно релаксирующая компонента (λ_1), треугольники — быстро релаксирующая компонента (отложена величина $\lambda_2/10$)

Исследование манганита $TbMnO_3$

В мультиферроике $TbMnO_3$ с помощью μSR -метода в магнитоупорядоченном состоянии ниже температуры Нееля 42 K обнаружена аномально сильная релаксация поляризации мюонов. Этот эффект обусловлен сильной неоднородностью внутреннего магнитного поля и спин-спиновым взаимодействием мюонов с e_g -электронами ионов Mn^{3+} в bc -плоскости циклоиды. Выше температуры Нееля, начиная с температур, зависящих от приложенного магнитного поля, обнаружено двухфазное состояние с существенно различной релаксацией поляризации мюонов. Эти особенности парамагнитного состояния обусловлены наличием областей ближнего магнитного порядка, возникающих в сильно фрустрированном $TbMnO_3$. Истинное парамагнитное состояние наблюдалось лишь при $T \geq 150\text{ K}$.

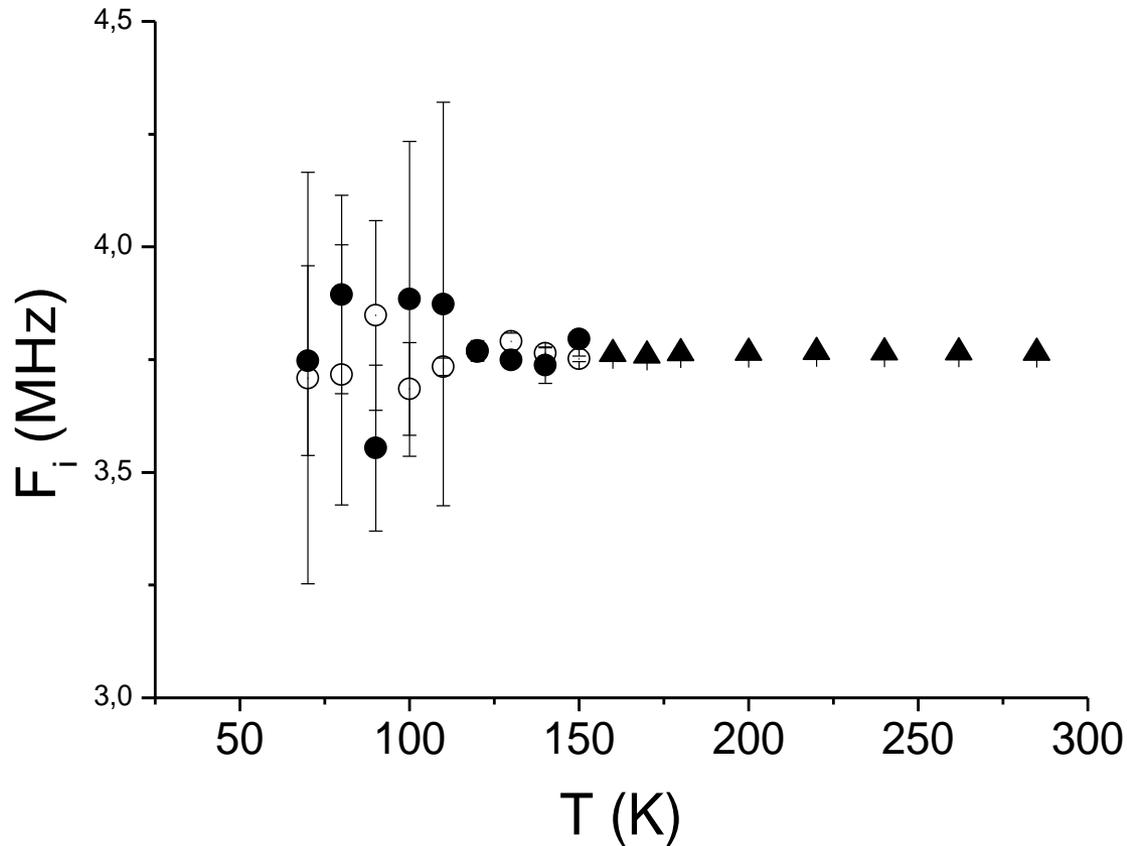


Температурная зависимость параметра релаксации λ во внешнем магнитном поле ($H = 280\text{ Gs}$; $T > 150\text{ K}$ – темные треугольники; $T < 150\text{ K}$: $i = 1$ – светлые точки; $i = 2$ – темные точки).

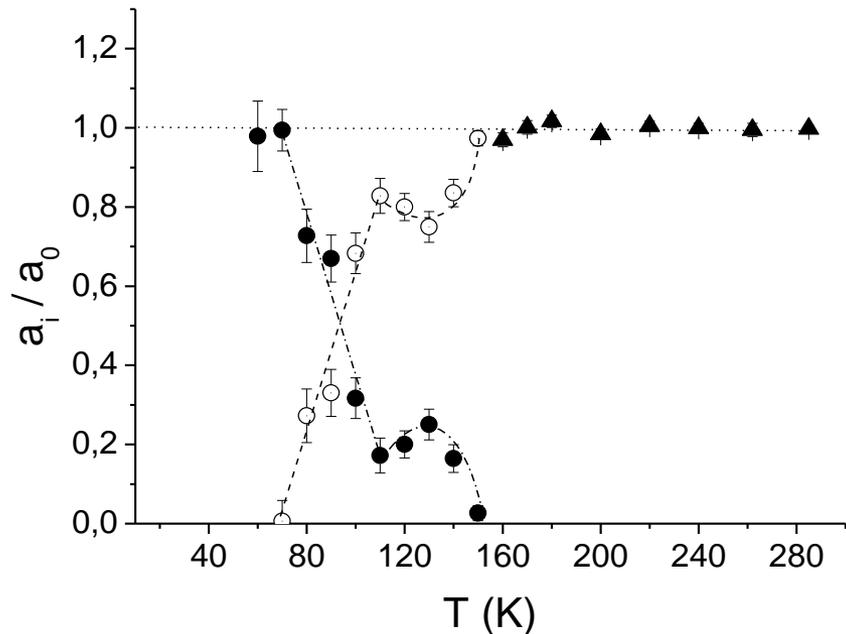


Температурная зависимость параметра релаксации λ в нулевом внешнем магнитном поле ($H = 0$; $T > 150\text{ K}$ – темные треугольники; $T < 150\text{ K}$: $i = 1$ – светлые точки; $i = 2$ – темные точки; $15\text{ K} < T < 30\text{ K}$: темный треугольник соответствует значению параметра λ).

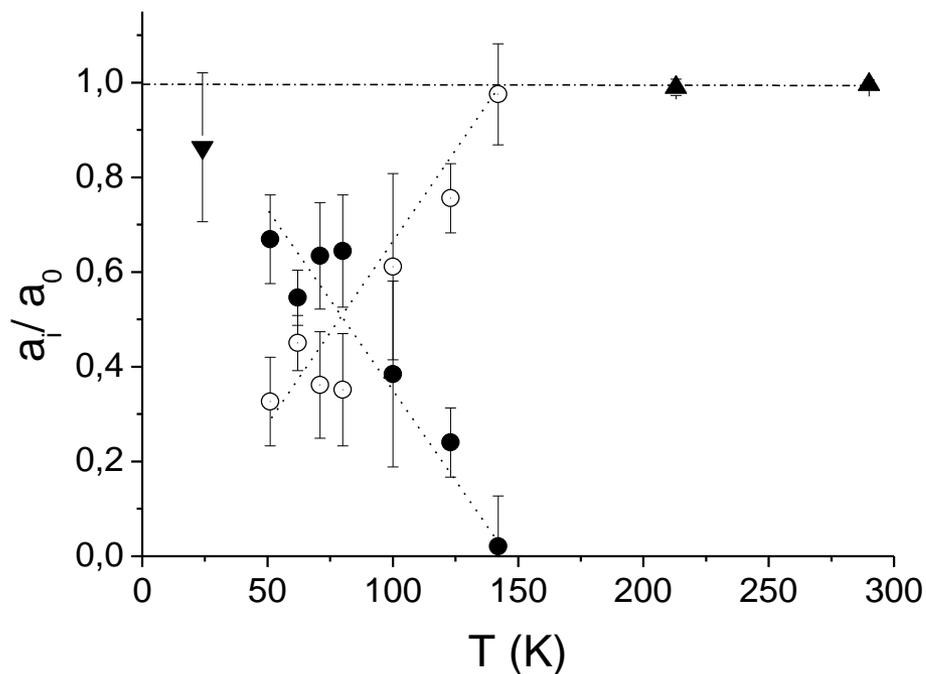
TbMnO₃



Температурная зависимость частот F_i ($i = 1, 2$) прецессии магнитного момента мюона во внешнем магнитном поле ($H = 280$ Гс; $T > 150$ К – темные треугольники; $T < 150$ К: $i = 1$ – светлые точки; $i = 2$ – темные точки).



Температурная зависимость нормированных парциальных вкладов в асимметрию распада мюона во внешнем магнитном поле ($H = 280 \text{ Гс}$; $T > 150 \text{ К}$ – темные треугольники; $60 \text{ К} < T < 150 \text{ К}$: $i = 1$ – светлые точки; $i = 2$ – темные точки).

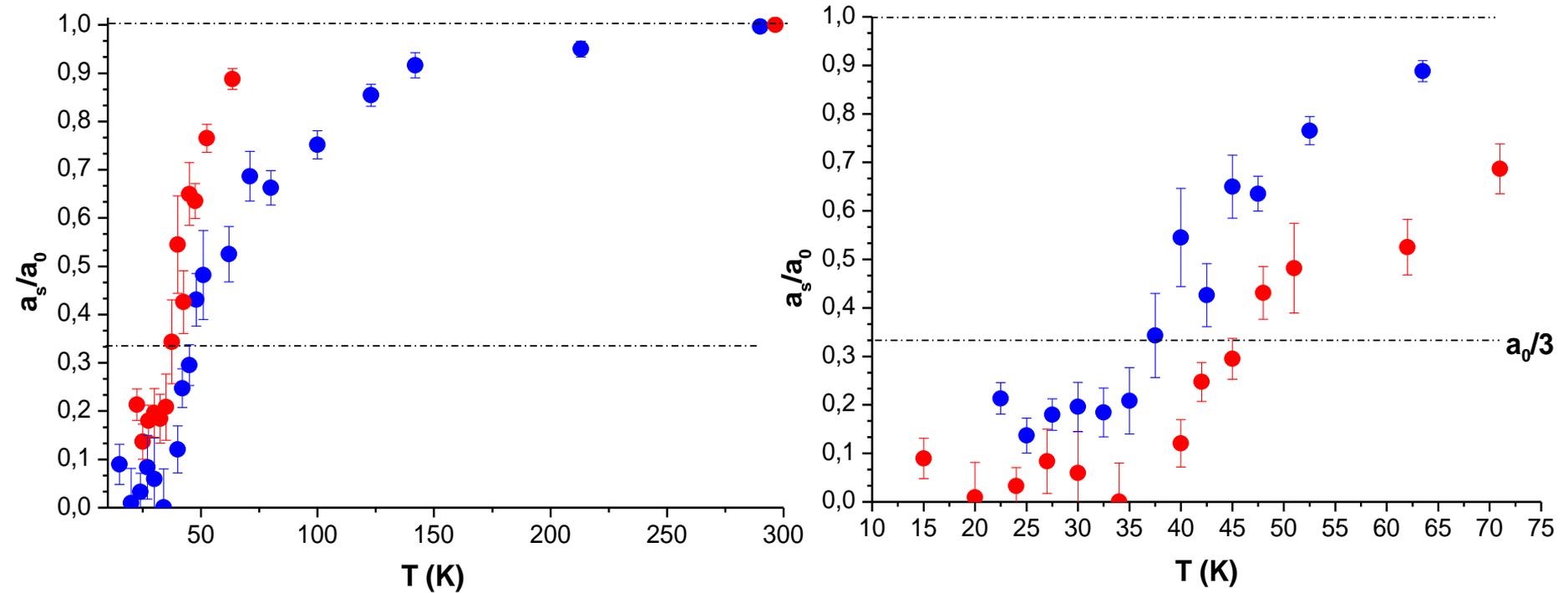


Температурная зависимость нормированных парциальных вкладов в асимметрию распада мюона в нулевом внешнем магнитном поле ($H = 0$; $T > 150 \text{ К}$ – темные треугольники; $50 \text{ К} < T < 150 \text{ К}$: $i = 1$ – светлые точки; $i = 2$ – темные точки; $15 \text{ К} < T < 30 \text{ К}$: темный треугольник соответствует значению параметра a_s).

TbMnO₃

Tb_{0.95}Vi_{0.05}MnO₃

(идёт сеанс до 28.12.16 г.)



При понижении температуры $T = 15 - 40$ К в $TbMnO_3$ полностью теряется поляризация, т.е. вместо $1/3a_0$ наблюдаем почти 0, поэтому ошибки в λ значительные. В допированном $Tb_{0.95}Vi_{0.05}MnO_3$ ниже 40 К наблюдаем поляризацию больше, чем в $TbMnO_3$.

Д.С. Андриевский, С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.И. Головенчиц, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, В.А. Санина, Г.В. Щербаков.
Аномально сильная релаксация поляризации мюонов в магнитоупорядоченном и парамагнитном состояниях мультиферроика $TbMnO_3$. Направлена в журнал «Письма В ЖЭТФ».

Семинар ОИКС, 21 марта 2016 года
Семинар ОФВЭ, 19 апреля 2016 года

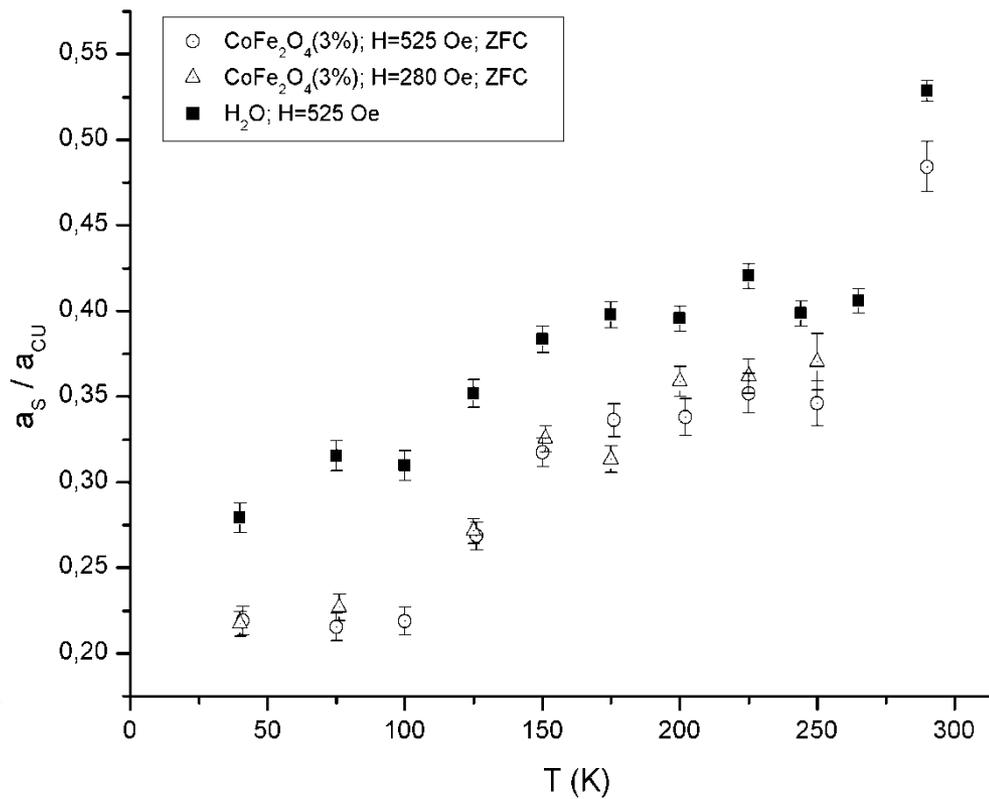
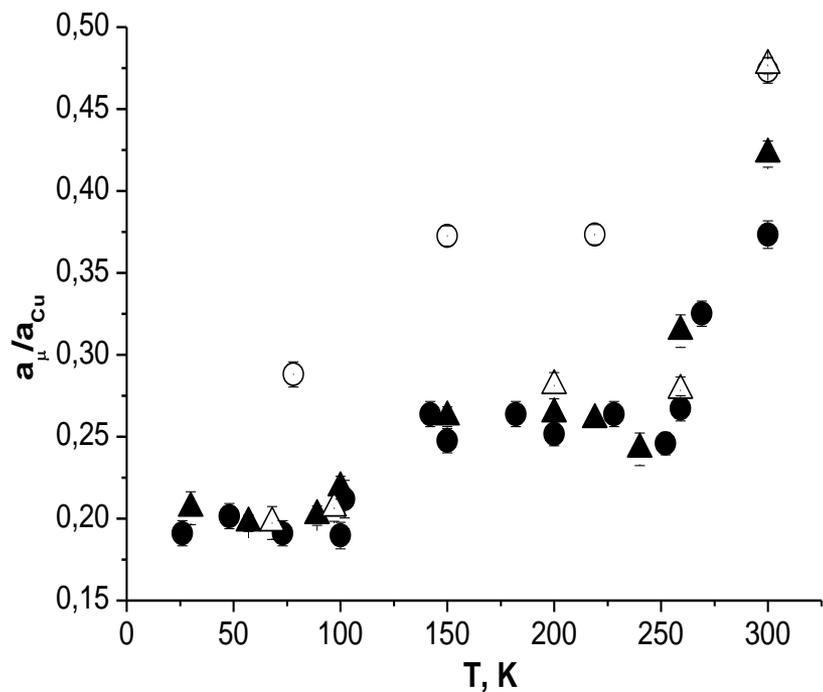
Исследование МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ



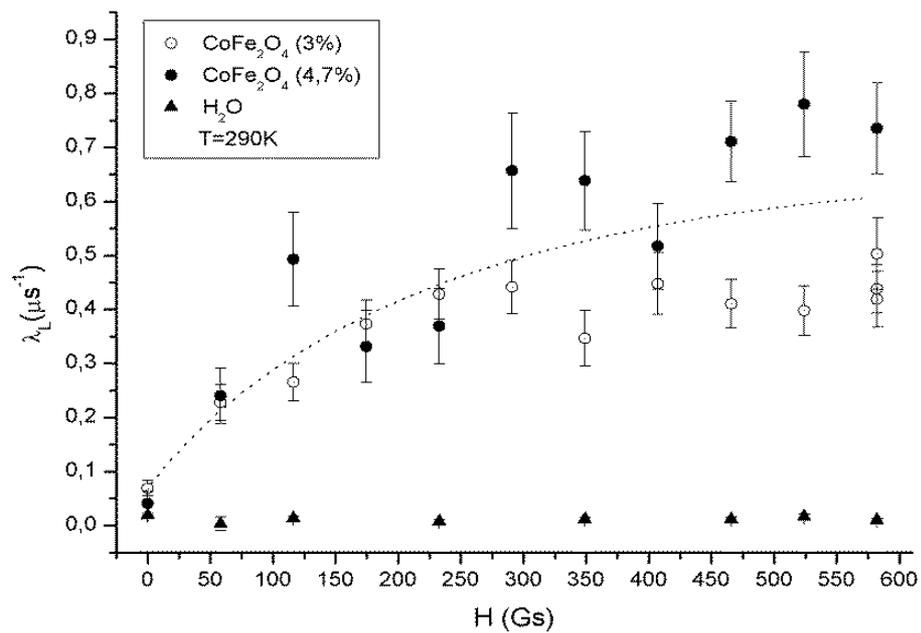
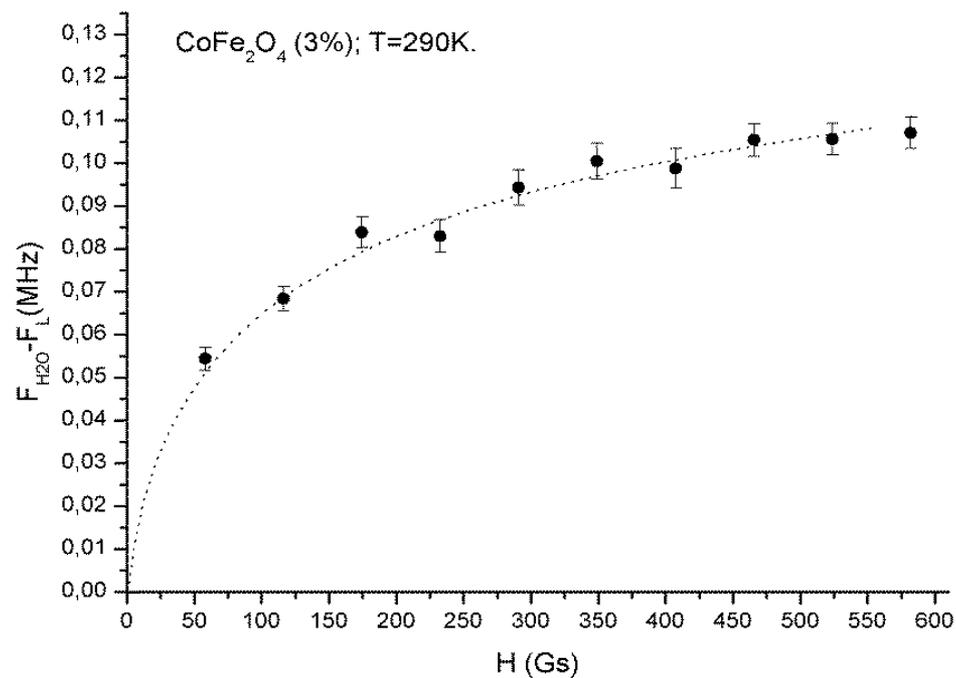
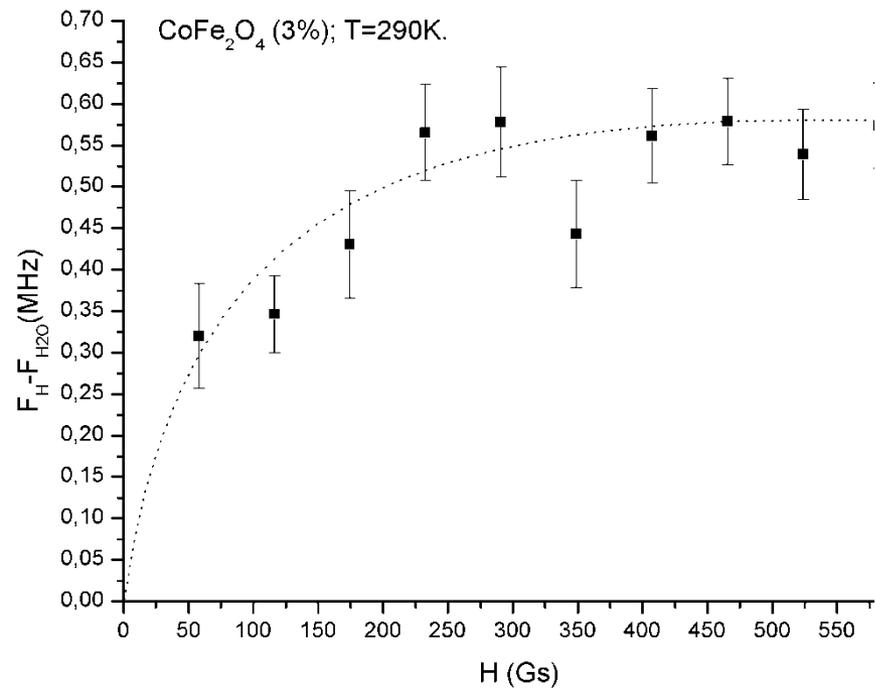
**Проведены эксперименты по изучению феррожидкости на
основе Fe_3O_4 (4,7%) в D_2O
и CoFe_2O_4 (0,5%, 3% и 4,7%) в H_2O**

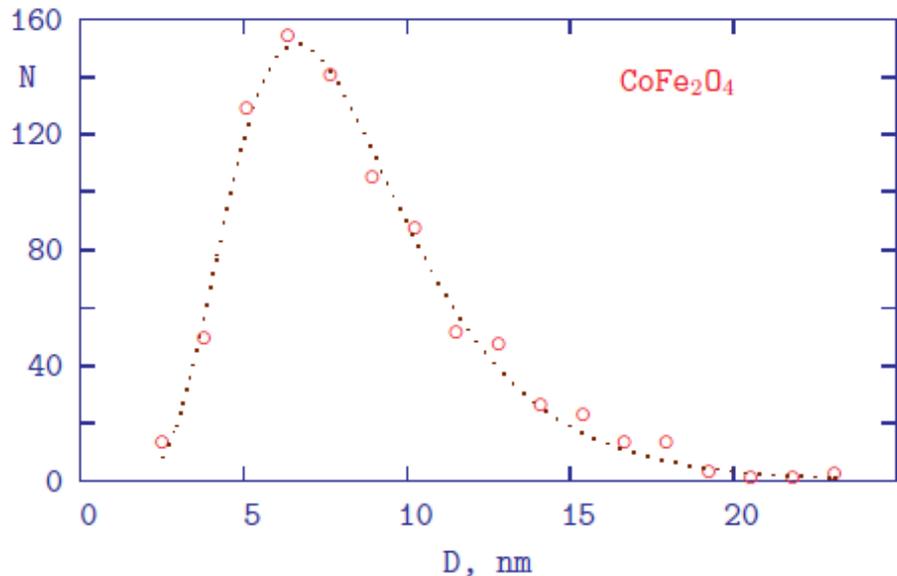
Исследуемая феррожидкость $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ представляла собой суспензию нанодисперсного магнетита Fe_3O_4 в тяжелой воде D_2O , стабилизированного ПАВ – додецилбензолсульфанатовой кислотой 2DBS. Магнитные частицы вместе с окружающей их стабилизирующей кислотой имели средний диаметр $d = 118,9 \text{ \AA}$ со стандартным отклонением $\sigma = 6,7 \text{ \AA}$. Объемная концентрация магнитных частиц составляла 4,7%. Магнитное ядро из Fe_3O_4 имело средний диаметр 70 \AA . В 1 мл феррожидкости- 0,244 г магнетита, а на 1 г Fe_3O_4 приходится 0,3 г ПАВ. Феррожидкость находилась в кювете из меди с суммарной толщиной стенок 100 мкм. Количество исследуемого вещества в направлении пучка составляло около 1,2 г/см²

Образцы феррожидкости $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{LA}/\text{DDS-Na}/\text{H}_2\text{O}$ представляли собой суспензии нанодисперсного феррита кобальта CoFe_2O_4 в бидистиллированной воде H_2O , стабилизированные двумя слоями ПАВ (диэтилдитиокарбомат натрия (DDS-Na) и лоуриновая кислота(LA)). Объемная концентрация магнитных частиц составляла 0,5%, 3% и 4,7%. Средний диаметр 85 \AA . При концентрации 3% в 1 мл феррожидкости содержалось 0,17г феррита кобальта, а на 1 г CoFe_2O_4 приходилось 0.25 г ПАВ.



Зависимость доли асимметрии мюонной компоненты от температуры в образцах D_2O (светлые значки) и $Fe_3O_4/2DBS/D_2O$ (темные значки) во внешних поперечных магнитных полях 280 Гс (круглые точки) и 8 Гс (треугольники)





Распределение частиц по размерам было исследовано в Московском центре современной технологии с использованием трансмиссионного электронного микроскопа высокого разрешения LOE 912 AB OMEGA (HRTEM) с ускоряющим напряжением 120 кВ. Капли водной суспензии феррожидкости наносили на покрытую углеродом медную сетку, просушивали и регистрировали микроизображения на фотопленке.

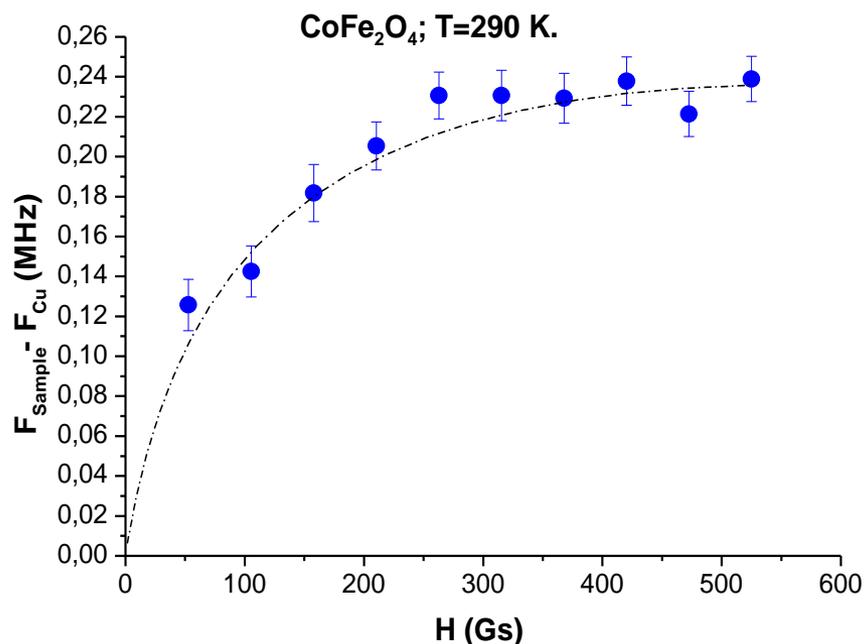
Были найдены следующие значения:

$$D_0 = 7.8 \pm 0.1$$

$$\sigma = 0.40 \pm 0.01$$

$$\bar{D} = D_0 \cdot e^{\sigma^2/2} = 8.5$$

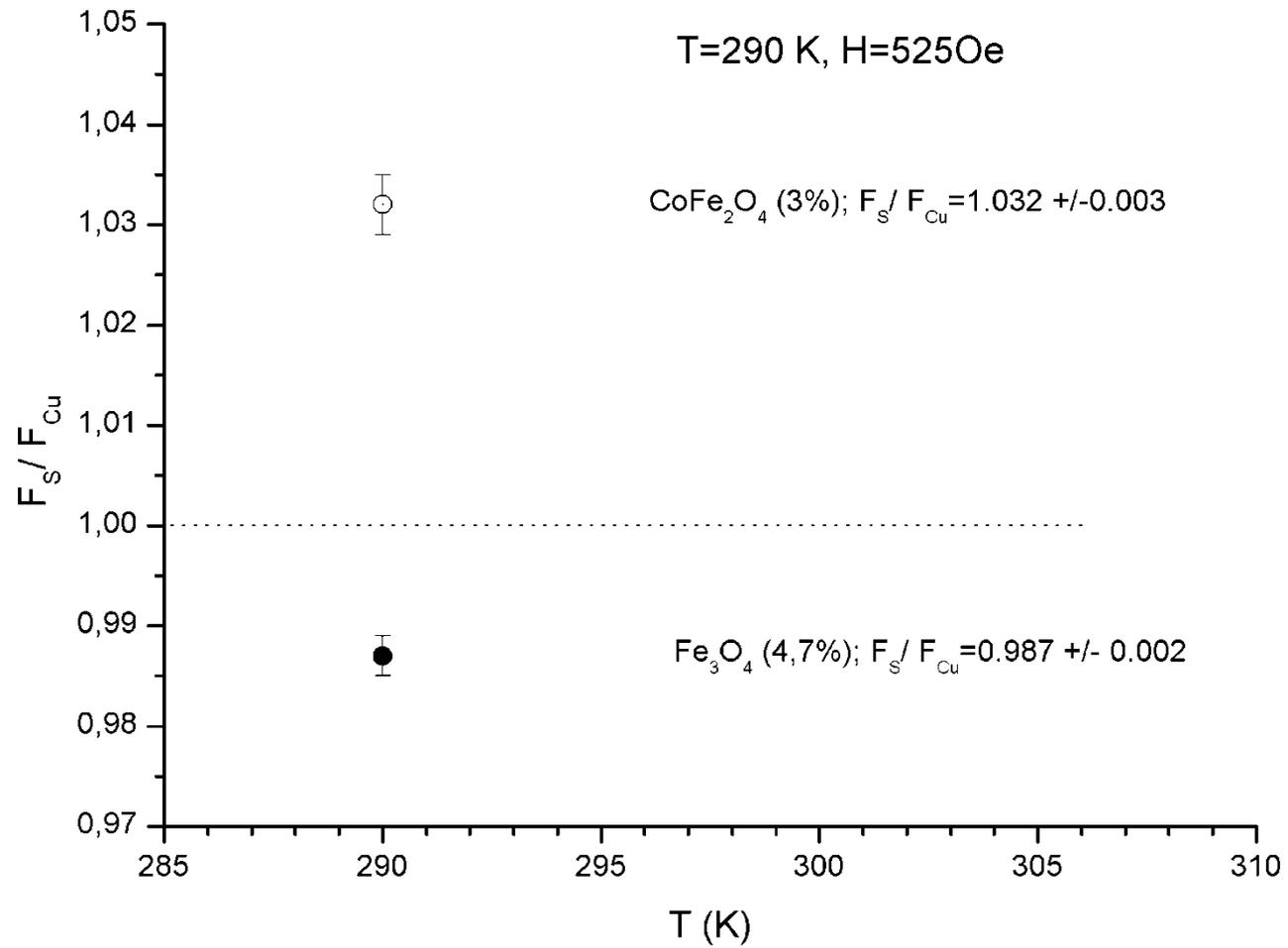
$$(D, \bar{D}, \text{ и } D_0 \text{ в нм})$$



Экспериментально установлено, что при малых концентрациях (менее 6-7%) наночастиц, намагниченность образца, как у парамагнетиков, хорошо описывается функцией Ланжевена.

Определён средний размер наночастицы: 8 ± 0.2 нм.

μ SR-метод дает возможность установить размер магнитных нановкраплений в парамагнитной матрице.



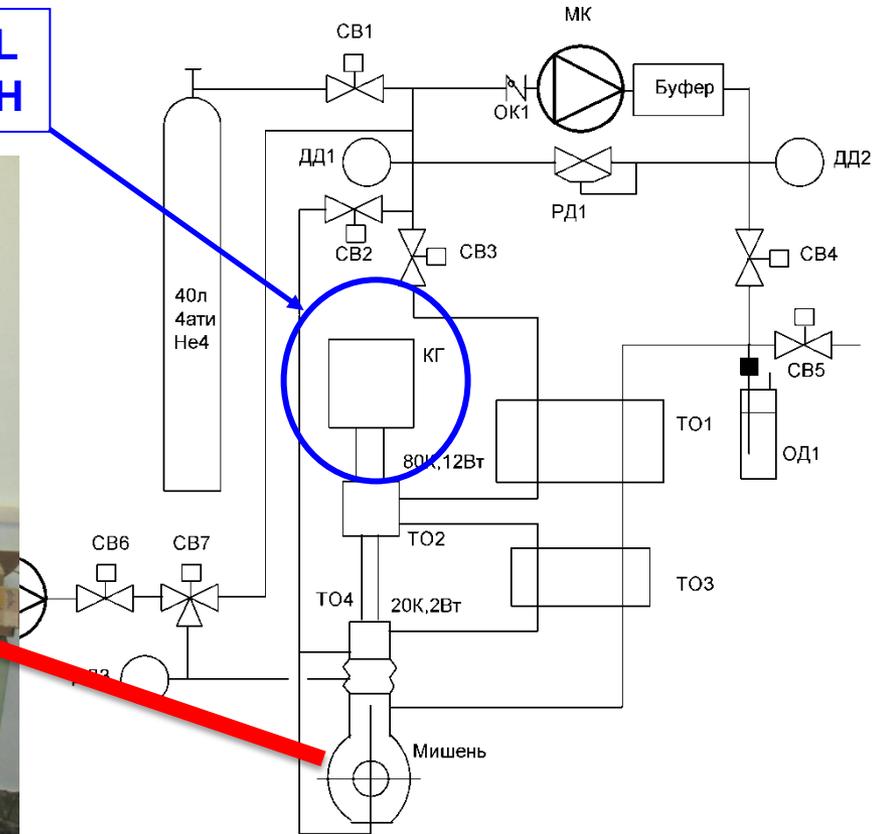
Модернизация установки

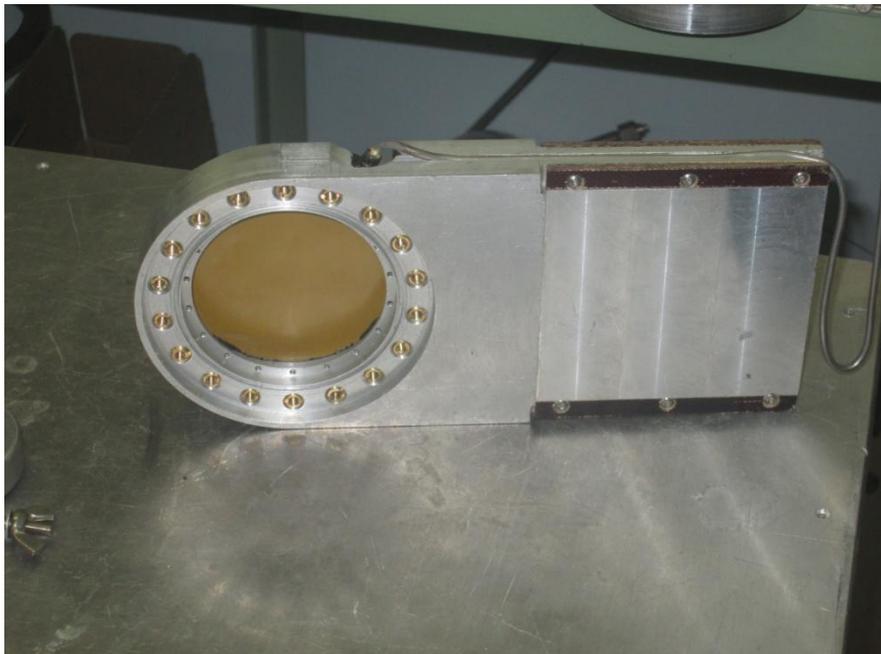
Совместно с ЛКСТ

Для чего нужно:

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

Криорефрижератор СН-208L
Гелиевый компрессор F-70H





Искренне благодарим всех сотрудников ЛКСТ, и особенно благодарны **Коченде Леониду Михайловичу** за его самоотверженный труд по созданию данной установки.

Публикации:

1. S. Dymov,..., S. Barsov, S. Mikirtychyants, Yu. Valdau et.al. *Coherent pion production in proton-deuteron collisions. Phys. Lett. B* **762**, 102 (2016).
2. V. Komarov,..., S. Mikirtychyants, Yu. Valdau et.al. *Evidence for excitation of two resonance states in the isovector two-baryon system with a mass of 2.2 GeV/c². Phys. Rev. C* **93**, 065206 (2016).
3. D. Mchedlishvili,..., S. Barsov, S. Mikirtychyants, Yu. Valdau et.al. *Measurement of the absolute differential cross section of proton-proton elastic scattering at small angles. Phys. Lett. B* **55**, 92 (2016).
4. Воробьев С.И., Андриевский Д.С., Барсов С.Г., Геталов А.Л., Головенчиц Е.И., Комаров Е.И., Котов С.А., Мищенко А.Ю., Санина В.А., Щербаков Г.В. *Исследование мультиферроиков $\text{Eu}_{0.8}\text{Ce}_{0.2}\text{Mn}_2\text{O}_5$ и EuMn_2O_5 с помощью μSR -метода. ЖЭТФ*, **150**, вып. 6(12), 1170 (2016).
5. Д.С. Андриевский, С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.И. Головенчиц, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, В.А. Санина, Г.В. Щербаков. *Аномально сильная релаксация поляризации мюонов в магнитоупорядоченном и парамагнитном состояниях мультиферроика TbMnO_3 . Направлена в журнал «Письма В ЖЭТФ».*

Магистерские диссертации:

1. Л.Д. Ельцов. *Разработка и введение в эксплуатацию системы измерения тока банчируемого пучка на ускорителе COSY. СПбПУ, 2016 г.*

Премия имени И. В. Курчатова за 2016 год среди студенческих работ.

2. А.Ю. Кононов. *Front-end электроника ядерно-физической установки РАХ для исследования взаимодействия поляризованных частиц. СПбПУ, 2016 г.*

Премии:

Л.Д. Ельцов. **Премия имени И. В. Курчатова за 2016 год среди студенческих работ.**

Доклады:

1. С.И. Воробьев. *Применение μSR -метода для исследования материалов.* Семинар кафедры прикладной ядерной физики НИЯУ МИФИ, февраль 2016 г.
2. С.И. Воробьев, А.Л. Геталов. *μSR -исследования на мюонном канале синхроциклотрона ФГБУ «ПИЯФ».* Семинар ОИКС, 21 марта 2016 г.
3. С.И. Воробьев, А.Л. Геталов. *Исследование материалов μSR -методом на синхроциклотроне ПИЯФ НИЦ КИ.* Ядерный семинар ОФВЭ, 19 апреля 2016 г.
4. Л.Д. Ельцов. *Разработка и введение в эксплуатацию системы измерения тока банчируемого пучка на ускорителе COSY.* XIV Курчатовская молодежная научная школа, 8 - 11 ноября 2016 г.

План на 2017 год:

1. Исследование фазовых переходов и распределения локальных внутренних магнитных полей в образце $Tb_{0,95}Vi_{0,05}MnO_3$ и сравнение с $TbMnO_3$. *Совместно с ФТИ и.м.А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург.*

2. Исследование наноструктурированных магнитных систем.

Планируется продолжить исследования изменения частоты прецессии мюона в феррожидкости в зависимости:

а) от концентрации магнитных наночастиц;

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

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).

3. Модернизация установки. *Совместно с ЛКСТ.*

4. Возможная работа: Исследование свойств аморфных и нанокристаллических магнетиков.

Совместно с НИЯУ МИФИ.

В ходе экспериментов предполагается исследовать механизмы возникновения и развития корреляций магнитной неоднородности в материалах, содержащих ферромагнитные нановкрапления, а также влияние различных типов воздействий на современные ферромагнитные аморфные ленты. Одной из задач исследования является установление корреляции между размером нановкраплений и среднеквадратичным распределением магнитных полей, а также механизмов, отвечающих за это распределение.



С НОВЫМ
2017
ГОДОМ!