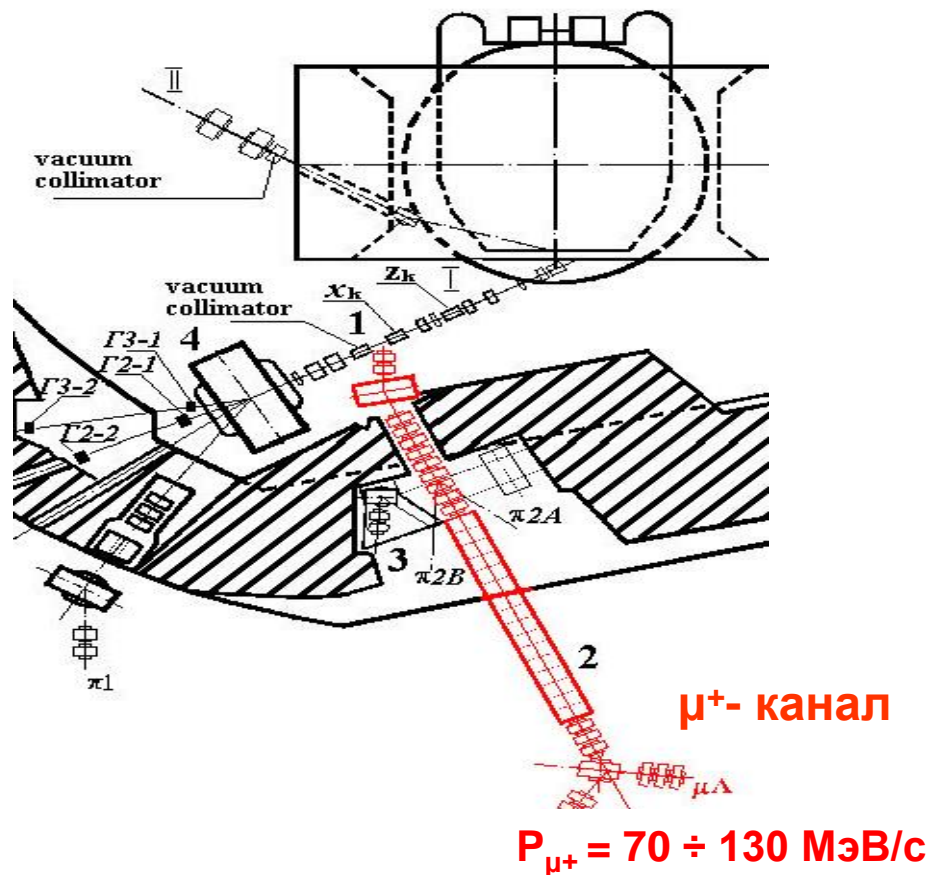
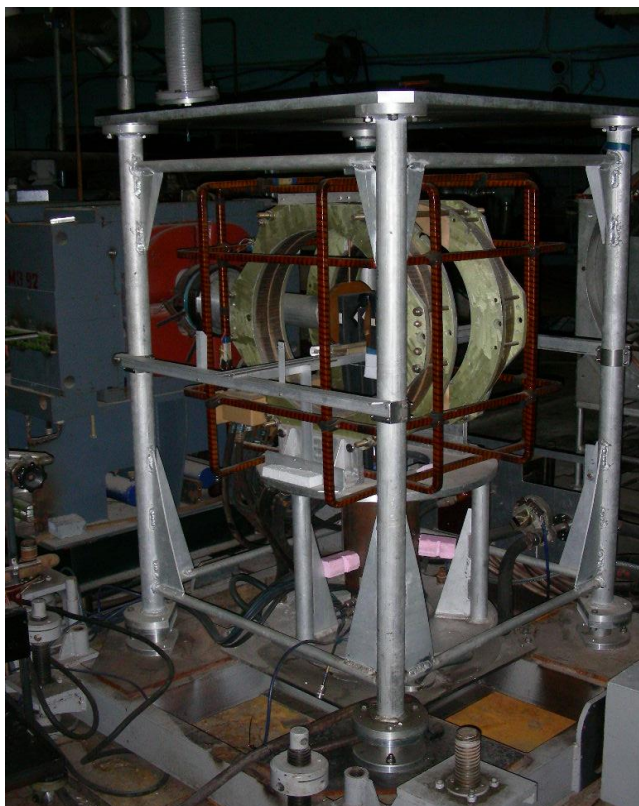


Лаборатория мезонной физики конденсированных сред в 2018 году



Штат лаборатории МФКС:

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	– с.н.с.
Барсов Сергей Григорьевич	– с.н.с., к.ф.-м.н.
Микиртычьянц Сергей Михайлович	– с.н.с., к.ф.-м.н.
Дзюба Алексей Александрович	– с.н.с., к.ф.-м.н.
Виноградова Людмила Леонидовна	– ст. лаб.
Чёрная Елена Николаевна	– ст. лаб.

Уволились в 2018 году:

Андриевский Дмитрий Сергеевич	– аспирант СПбГУ (0,5 лаб.-исслед.)
-------------------------------	-------------------------------------

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ в 2018 году:

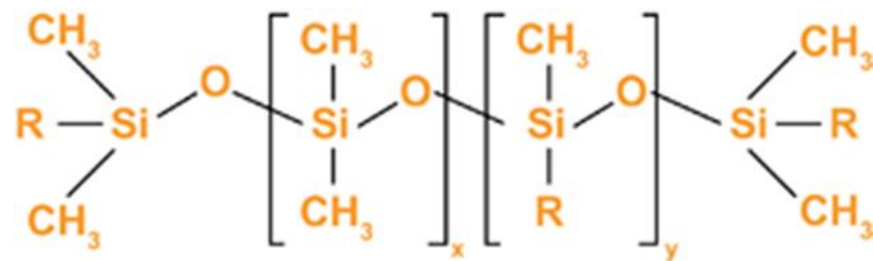
1. Продолжались исследования фазовых переходов и распределения локальных внутренних магнитных полей в образце $Tb_{0,95}Vi_{0,05}MnO_3$ и $TbMnO_3$.

Совместно с ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург.

2. Исследование наноструктурированных магнитных систем.

- завершена обработка результатов исследования феррожидкости в зависимости от концентрации магнитных наночастиц $CoFe_2O_4$ диспергированных в воде H_2O ;
- проведены предварительные эксперименты по изучению распределения магнитных однодоменных наночастиц $CoFe_2O_4$ с объемной концентрацией 0%, 1%, 5%, 10%, 15% покрытых слоем додецилсульфата натрия $NaCH_3(CH_2)_{11}OSO_3$ (SDS) и слоя лауриновой кислоты $C_{11}H_{23}COOH$ (LA) в эластомерной матрице.

*Совместно с ОИЯИ (Дубна);
Horia Hulubei National Institute of Physics and Nuclear Engineering,
Bucharest, Romania;
Center for Fundamental and Advanced Technical Research,
Timisoara, Romania;
Department of Physics Polytechnika University of Bucharest, Romania.*



R = -OH, -CH=CH₂, -CH₃, or another alkyl or aryl group

3. Продолжалась модернизация μSR-установки.

(Криогенная часть совместно с ЛКСТ ОФВЭ).

Проводилась работа по модернизации программного обеспечения, системы регистрации и сбора данных действующей μSR-установки. Изготовлена и протестирована новая криогенная часть установки.

А.Л. Геталов, С.И. Воробьев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. Программа MSR2016 для набора данных μSR-эксперимента. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018615720 от 15.05.2018.

С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. μSR-исследования магнитных свойств легированных манганитов лантана. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, № 6 (113), 2018, стр. 8 – 12.



Экспериментальные данные (временные спектры) аппроксимировали с помощью функции:

$$N(t) = N_0 \exp(-t/\tau_\mu) [1 + a G(t) + a_b \cdot G_b(t)] + B \quad (1)$$

где N_0 – нормировочная константа;

τ_μ – время жизни мюона (2.197 мкс);

$a_b, G_b(t)$ – доля конструктивного фона и его временная зависимость соответственно;

B – фон случайных совпадений.

Параметр (a) зависит от начальной поляризации остановившихся мюонов. Вид временной функции $G(t)$ зависит от условий измерений и температуры образца. Так, лучшее описание временных спектров, полученных во внешнем магнитном поле, перпендикулярном начальному спину мюона, в интервале температур (70 ÷ 150) K достигнуто когда:

$$a \cdot G(t) = a_1 \cdot \exp(-\lambda_1 t) \cdot \cos(2\pi F_1 t) + a_2 \cdot \exp[-(\lambda_2 t)^2] \cdot \cos(2\pi F_2 t) \quad (2)$$

Здесь a_1, a_2 – парциальные амплитуды прецессии спина мюона на частотах F_1 и F_2 . Параметры λ_1 и λ_2 соответствуют скоростям затухания прецессии спина мюона.

При других температурах хорошее описание получается когда:

$$a \cdot G(t) = a_F \cdot \exp(-\lambda_F t) \cdot \cos(2\pi Ft), \quad (3)$$

где: (a_F, λ_F и F) – амплитуда, скорость затухания и частота прецессии спина мюона во внешнем магнитном поле соответственно.

При температурах образца меньших $T_N = 40$ K нет прецессии спина мюона на частоте, соответствующей внешнему магнитному полю ($a_F=0$).

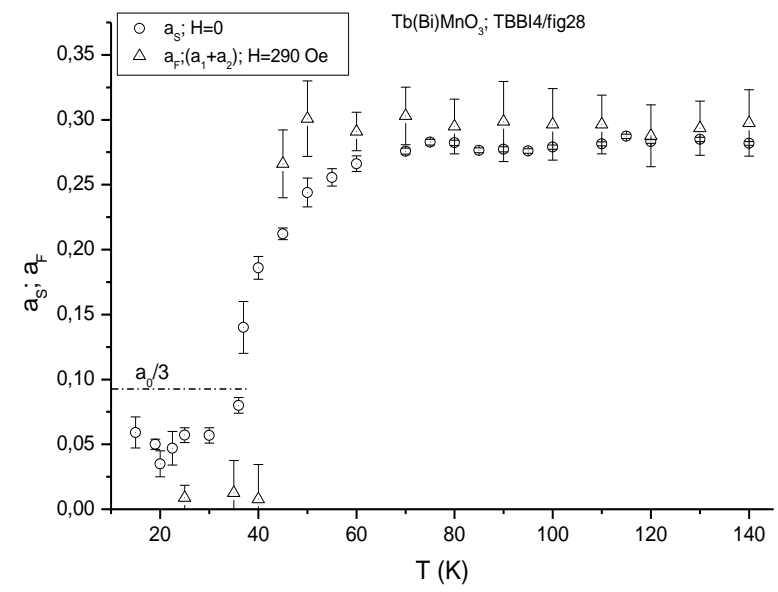
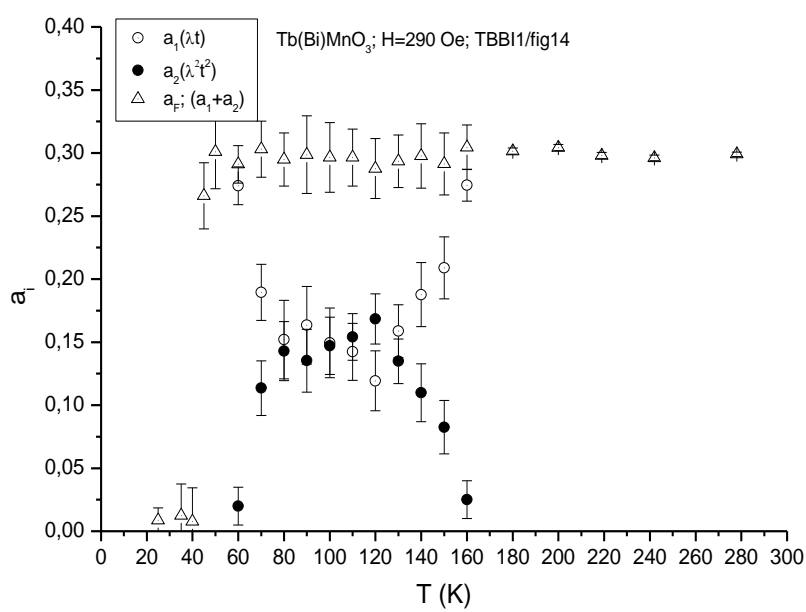
Временные спектры, измеренные в нулевом внешнем магнитном поле, обрабатывались по формуле (1) с фиксированной средней линией N_0 . Форма временной зависимости была выбрана в виде:

$$a G(t) = a_s \cdot \exp(-\lambda_s t) \quad (4)$$

для температур образца $T > T_N = 40$ K и

$$a G(t) = a_s \cdot [1/3 + 2/3 \cdot \cos(2\pi Ft) \cdot \exp(-\Delta t)] \quad (5)$$

для температур образца $T < T_N = 40$ K.

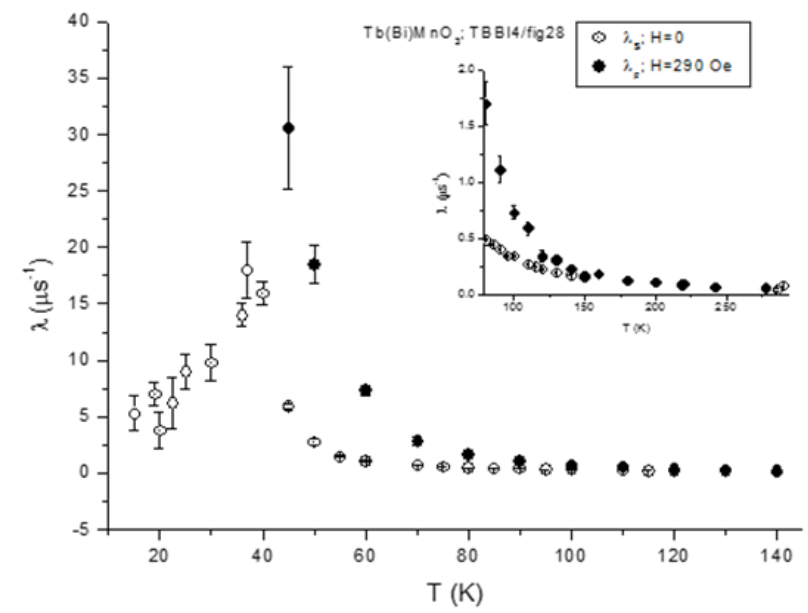


При измерениях во внешнем магнитном поле в области температур (70 ÷ 150) K наблюдается расщепление функции релаксации на две компоненты по форме затухания: *лоренцевского* и *гауссова* типа.

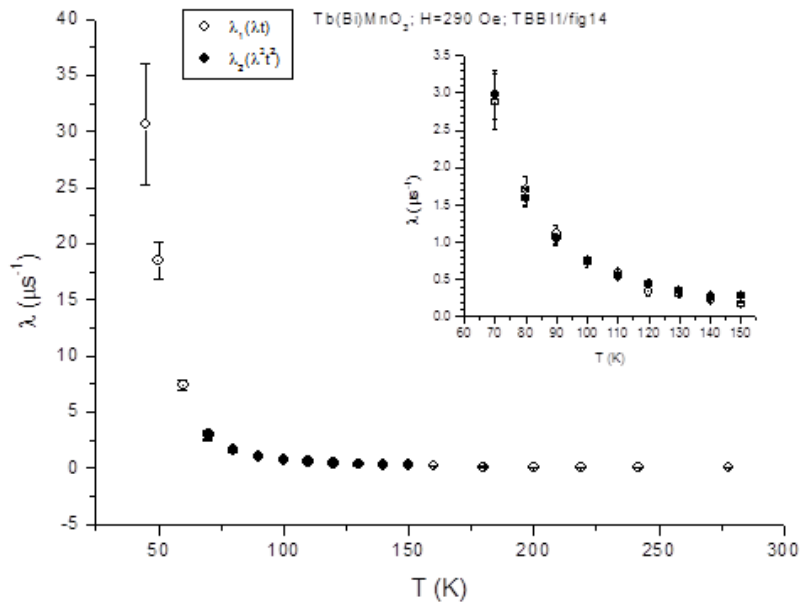
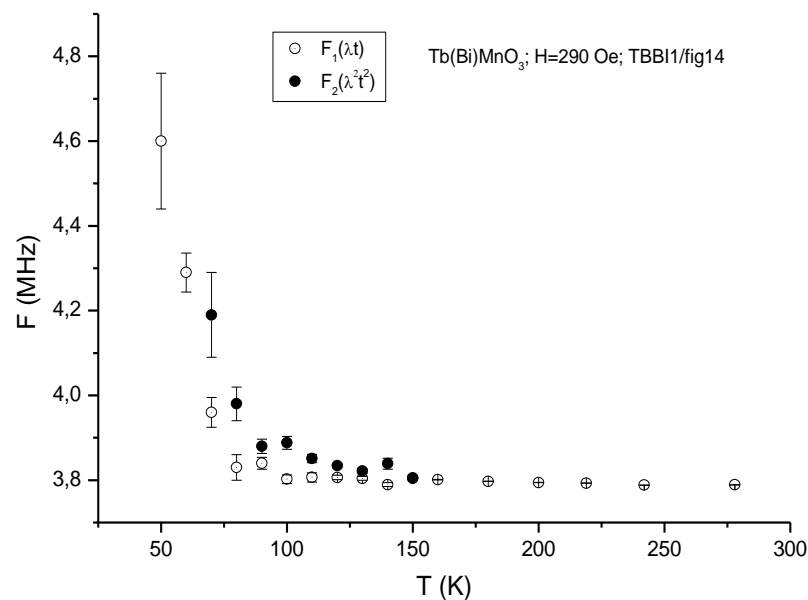
Лоренцевское затухание связано с воздействием на мюон локальных полей с высокой динамикой, когда параметр $\lambda_F = \sigma^2 \tau_c$ и $\tau_c \ll t$, где τ_c – время корреляции поля с магнитным моментом мюона, t – время измерения.

Когда $\tau_c \geq t$, $\lambda_F = \sigma^2 t$ и в функции релаксации появляется компонента $\exp(-\lambda^2 t^2)$, т. е. примесь гауссова затухания.

Наши измерения во внешнем магнитном поле при $T=290 \text{ K}$ показали, что примерно для 50% остановившихся мюонов наблюдается гауссово затухание поляризации. Всё это наблюдается только во внешнем магнитном поле.



Важно отметить, что сумма парциальных амплитуд $a_1 + a_2 = a_F$ для всех температур исследованного образца выше температуры Нееля $T = 40 \text{ K}$. Это указывает на то, что никаких других каналов релаксации поляризации не существует в этом диапазоне температур.



Наблюдается заметный рост частот прецессии спина мюона в области критических флуктуаций при температурах образца $T < 70$ K. При этом соотношение между частотами сохраняется ($F_2 > F_1$) при всех температурах, при которых наблюдается расщепление функции релаксации на две компоненты.

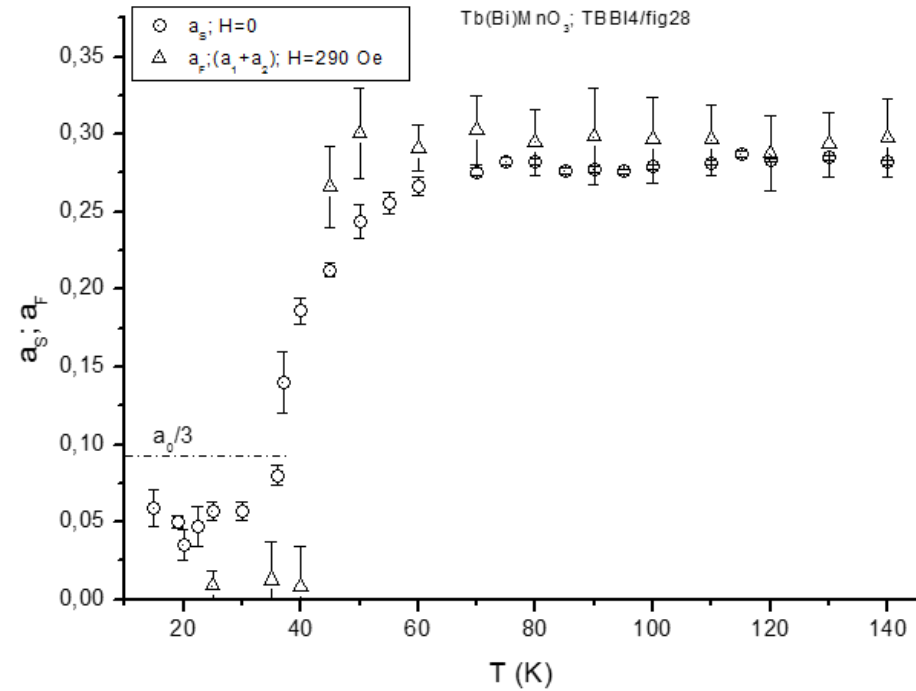
Примерное равенство параметров $\lambda_1 \approx \lambda_2$ сохраняется практически во всём диапазоне температур, где они наблюдаются. Оба параметра растут по мере понижения температуры образца. При температурах $T < 70$ K виден заметный рост скорости затухания.

Наблюдается постепенное увеличение потери поляризации за счёт быстрой релаксации при понижении температуры образца, начиная с температуры $T = 70$ K. Сравнительный анализ поведения параметров (λ_s и λ_F) при изменении температуры образца показывает, что в интервале температур (150÷290)K $\lambda_s \approx \lambda_F$, а различие между ними появляется при температурах меньших $T = 150$ K. Разница ($\lambda_F - \lambda_s$) увеличивается с понижением температуры образца. Это может быть связано с воздействием внешнего поля на динамику внутренних локальных магнитных полей. Ослабление динамики локальных полей приводит к увеличению τ_c , что в свою очередь увеличивает λ_F .

Таким образом, можно уверенно сказать, что внешнее магнитное поле приводит к двум наблюдаемым эффектам: появляется расщепление в функции релаксации по форме самого затухания и заметно растёт скорость релаксации при температурах образца меньших $T = 150$ K.

Ниже температуры $T_N = 40 \text{ K}$ в исследованном образце возникает магнитоупорядоченное состояние.

При этом исчезает амплитуда прецессии спина мюона на частоте внешнего магнитного поля (a_F). Наблюдаемая асимметрия a_s оказалась существенно меньше ожидаемой величины $a_0/3$. Появился дополнительный канал быстрой деполяризации за счёт образования мюонных ферромагнитных пар. Такие пары образуются из-за двойного обмена между двумя соседними ионами Mn^{+3} и Mn^{+4} . Такой эффект наблюдался при исследовании образцов RMn_2O_5 . Этот же механизм, по-видимому, приводит к наблюдаемому уменьшению a_s при приближении к температуре к температуре T_N со стороны высоких температур. Количество таких пар увеличивается и время жизни их так же растёт. Всё это происходит в тех случаях, когда мюоны останавливаются вблизи разновалентных пар ($Mn^{+3}-Mn^{+4}$).



Мюониевый канал релаксации поляризации возникает и в случаях остановок мюонов вблизи пар ионов марганца с одинаковой валентностью ($Mn^{+3}-M^{+3}$). Мюон попеременно взаимодействует с двумя e_g -электронами. Т.о., двойной обмен между соседними ионами ослабляется в циклоиде незначительно по сравнению с ферромагнитным состоянием и существует возможность образования мюония. Характерная частота для двойного обмена составляет $\nu = 6.6 \cdot 10^{13}$ Гц. Частота сверхтонкого расщепления в свободном атоме мюония $\nu_0 = \omega_0/2\pi \approx 4.46 \cdot 10^9$ Гц. В случае быстрого обмена, когда $\nu \gg \nu_0$, сверхтонкая связь в мюонии разрывается. Возникает прямое взаимодействие спинов мюонов со стохастическими внутренними магнитными полями циклоиды.

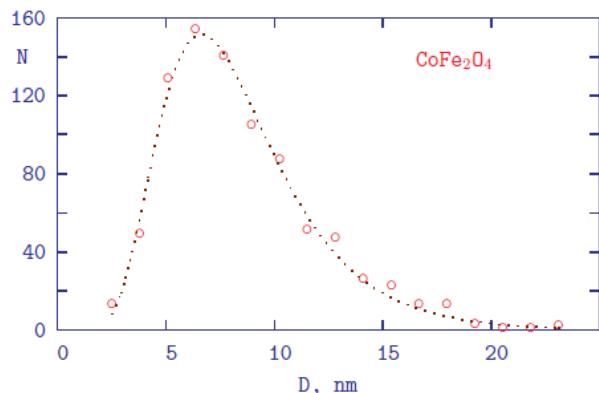
И с л е д о в а н и е м а г н и т н ы х ж и д к о с т е й

Завершена обработка экспериментальных данных по изучению феррожидкости с концентрацией наночастиц CoFe_2O_4 в воде равной 0.5% и 3.0%



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%. Средний диаметр 85 Å. При концентрации 3% в 1 мл феррожидкости содержалось 0,17г феррита кобальта, а на 1 г CoFe_2O_4 приходилось 0.25 г ПАВ.



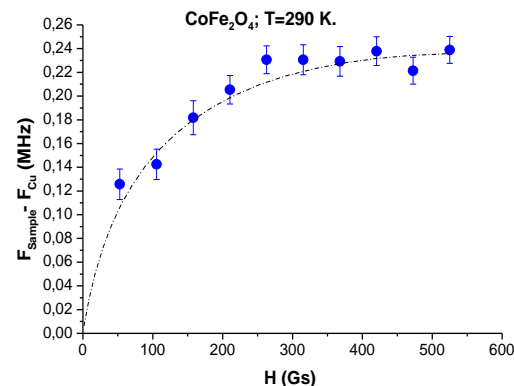
Распределение частиц по размерам с использованием трансмиссионного электронного микроскопа высокого разрешения. Были найдены следующие значения:

$$D_0 = 7.8 \pm 0.1$$

$$\sigma = 0.40 \pm 0.01$$

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

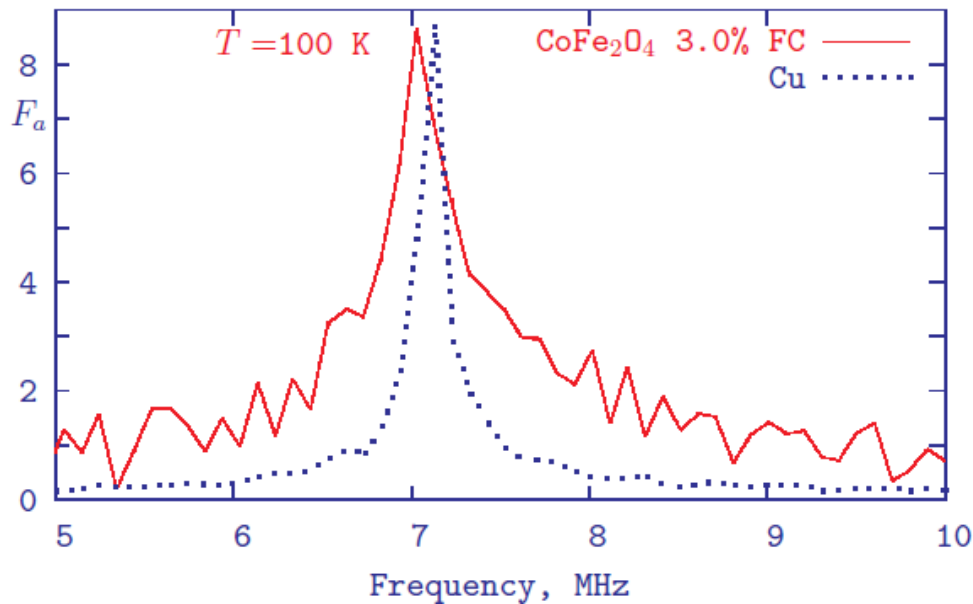
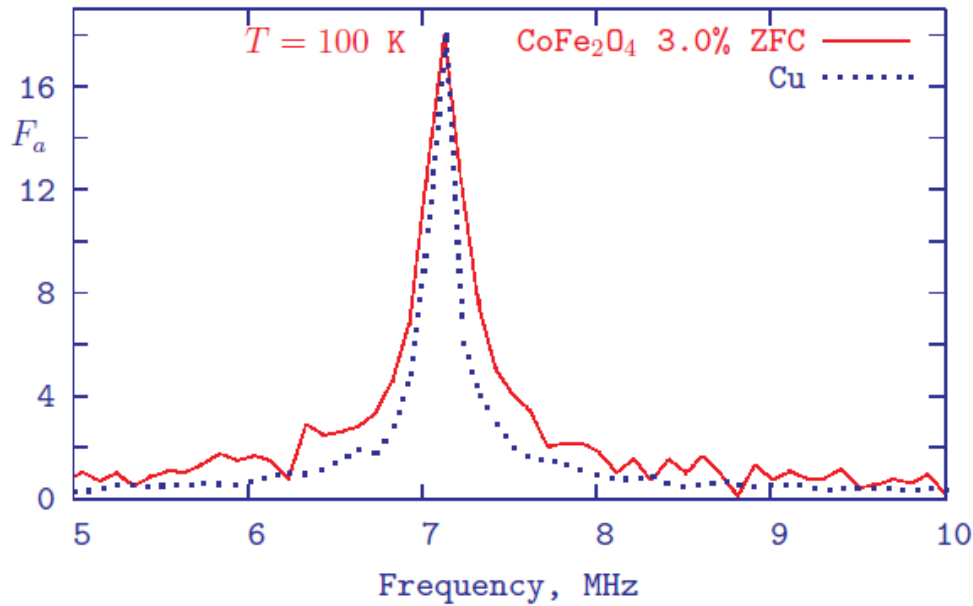
(D , \bar{D} , и D_0 в нм)



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

Определён средний размер наночастицы: 8 ± 0.2 нм.

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



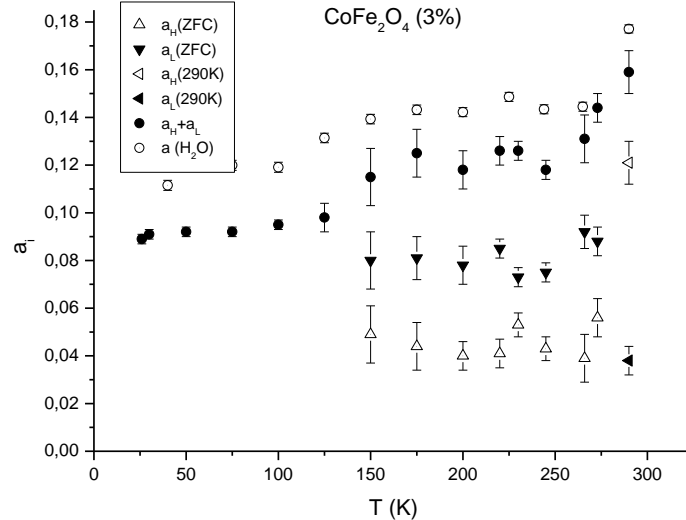
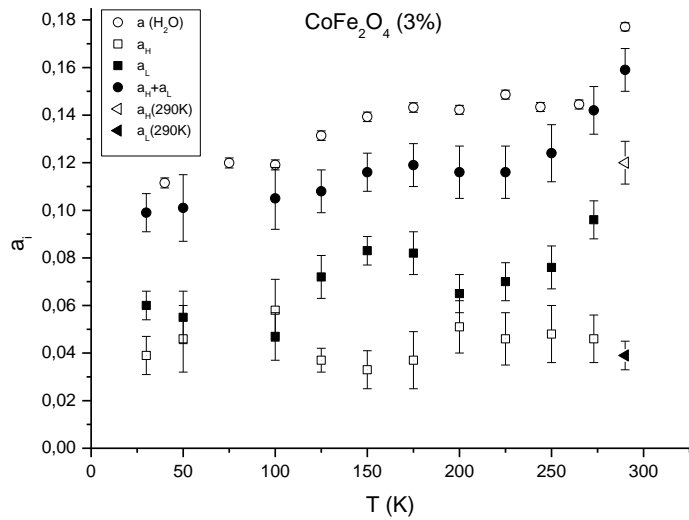
Результаты преобразования Фурье μ SR-данных для Cu и для образца с концентрацией наночастиц CoFe_2O_4 3%. Образец измерялся при 100 K в случае ZFC (верхний рисунок) и FC (нижний рисунок).

Из сравнения средних значений частоты прецессии мюонного спина в FC измерениях в температурном интервале 30–250 K и в ZFC измерениях в температурном интервале 26–175 K следует, что во внешнем магнитном поле 525 Гс, наночастицы создают в образце дополнительное среднее магнитное поле около

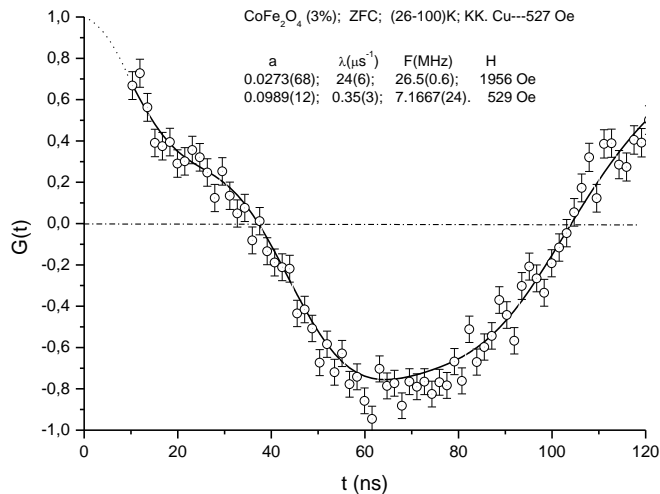
$$B = (\omega_{\text{ZFC}} - \omega_{\text{ZF}})/\gamma_{\mu} = 4.7 \pm 0.2 \text{ Гс.}$$

Фурье анализ μ SR-данных показывает, что в феррожидкости магнитное поле отличается от внешнего поля не только по средней величине, но имеет место увеличение его дисперсии.

Как видно из рис. для образца с 3.0% концентрацией наночастиц, положение пика в Фурье спектре при ZFC измерениях совпадает с таковым для меди, при этом пик слегка расширен. В FC измерениях имеет место значительное уширение и сдвиг пика в феррожидкости по сравнению с медью.



Поведение парциальных амплитуд прецессии спина мюона во внешнем поперечном магнитном поле 527 Гс демонстрируется на рисунках. На этих же рисунках показано поведение амплитуды прецессии спина мюона в образце H₂O. Следует отметить, что в интервале температур образца 150К ÷ 290К в обоих режимах измерений наблюдается одинаковое поведение парциальных амплитуд a_H и a_L. Что же касается суммы парциальных амплитуд, то оказалось, что во всех температурных точках она примерно на 20% меньше амплитуды полученной на чистой воде (H₂O). Такое отличие можно объяснить тем, что часть мюонов останавливается в самих наночастицах, где магнитное поле значительно больше внешнего магнитного поля.



На рисунке демонстрируется G(t) функция.

Виден вклад с амплитудой a=0.027(7), с затуханием λ=24(6)мкс⁻¹ и частотой F=26.5(6) МГц, что соответствует магнитному полю 1.96(49) кГс. Это и есть намагниченность наночастицы.

Таким образом, мы выполнили прямое измерение намагниченности наноразмерного объекта.

Выводы:

- ❑ Были исследованы магнитные свойства феррожидкостей с концентрацией наночастиц CoFe_2O_4 в воде равной 0.5% и 3.0%.
- ❑ Результаты FC и ZFC измерений свидетельствуют о том, что однодоменная наночастица с размером около 8.5 нм имеет высокую константу анизотропии примерно равную 10^6 эрг/см³ при 270 К.
- ❑ Величина дополнительного магнитного поля, создаваемого в феррожидкости наночастицами CoFe_2O_4 в случае FC измерений во внешнем магнитном поле 525 Гс для образца $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{LA}/\text{SDS}/\text{H}_2\text{O}$ с объемной концентрацией CoFe_2O_4 в H_2O равной 3.0% при 270 К составила 4.7 Гс.
- ❑ Впервые определили дисперсию магнитного поля, создаваемого наночастицами в феррожидкости: $\sigma \approx 1.9$ Гс для ZFC и ≈ 6.9 Гс для FC измерений соответственно.
- ❑ Выполнили прямое измерение намагниченности наноразмерного объекта: $\approx 1.96 \pm 0.49$ кГс.

Изучение распределения магнитных наночастиц в эластомерной матрице

Образцы эластомера с объемной концентрацией 0%, 1%, 5%, 10%, 15% однодоменных наночастиц CoFe_2O_4 (покрытых слоем додецилсульфата натрия $\text{NaCH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3$ (SDS) и слоя лауриновой кислоты, $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$ (LA)).

Sample volume = 32cm^3

P_0 : $\Phi_1=0\%$ at $H=0\text{kA/m}$;

P_1 : $\Phi_1=1\%$ at $H=0\text{kA/m}$;

P_2 : $\Phi_1=5\%$ at $H=0\text{kA/m}$;

P_3 : $\Phi_1=10\%$ at $H=0\text{kA/m}$;

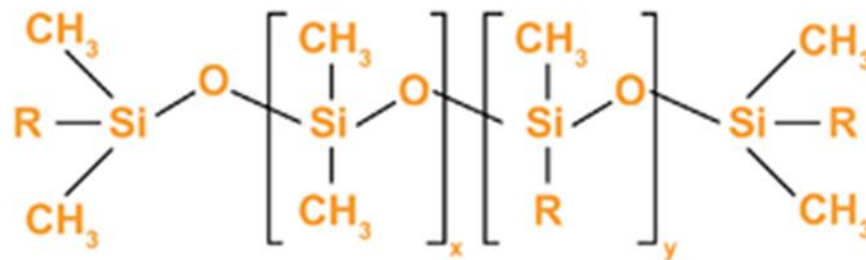
P_4 : $\Phi_1=15\%$ at $H=0\text{kA/m}$.

P_{1m} : $\Phi_1=1\%$ at $H=80\text{kA/m}$;

P_{2m} : $\Phi_1=5\%$ at $H=80\text{kA/m}$;

P_{3m} : $\Phi_1=10\%$ at $H=80\text{kA/m}$;

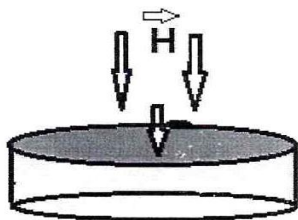
P_{4m} : $\Phi_1=15\%$ at $H=80\text{kA/m}$.



$R = -\text{OH}, -\text{CH}=\text{CH}_2, -\text{CH}_3$, or another alkyl or aryl group

В отличие от феррожидкостей, в эластомерной матрице направление легкой оси магнитных наночастиц друг относительно друга и с макроскопическим образцом фиксированы и не могут быть изменены внешним магнитным и электрическим полями. Однако направление легкой оси наночастиц в образце зависит от условий изготовления образца эластомера. Применение внешнего магнитного поля в процессе отверждения образца может изменить распределение частиц в объеме образца и распределение ориентации легкой оси наночастиц в пространстве.

Магнитные и другие свойства, представляющие интерес для практического применения эластомера, могут варьироваться в зависимости от концентрации и распределения наночастиц в объеме образца, а также от простого пространственного распределения наночастиц.



Прошло около 20 лет как в **Государственном научно-исследовательском институте химии и технологии элементоорганических соединений** был синтезирован **магнитоэластик** – эластичный магнитный эластомер, *изменяющий форму в магнитном поле*.

Несколько ранее, в **США** фирмами **Ford** и **Lord Corporation**, были изготовлены магнитореологические эластомеры, *способные изменять упругость в магнитном поле, которые предполагалось использовать в качестве основного рабочего тела в перестраиваемых демпфирующих устройствах, амортизаторах*.

В это же время в **Будапештском технологическом институте** синтезировали и интенсивно исследовали **магнитный гель**, *который также деформировался в неоднородном магнитном поле*.

Первоначально данный материал называли **магнитоэластик**, как бы подчеркивая высокую эластичность данного магнитного композита в отличие от традиционных известных **магнитоэластов**.

По составу такие магнитные композиты известны давно, и исследования их свойств были изложены в монографии *«Магнитные эластомеры» М., Химия, 1987. 240 с.*, но в отличие от магнитоэластиков, магнитоэласты не способны изменять свои свойства в магнитном поле, а представляют собой или полимерные магниты или магнитодиэлектрики.

В ряде исследований этот материал называют **магнитореологический эластомер**, **магнитный гель**, **эластомер-ферромагнитный композит**, **эластичный магнит**, **ферроэласт**, **магнитоконтролируемый эластомер**, **магнитоуправляемый эластомер**, **мягкий магнитный эластомер**, **магнитный полимер**, **магнитный гибридный эластомер**.

Состав материала простой – это **композит магнитного наполнителя в эластичной полимерной матрице.**

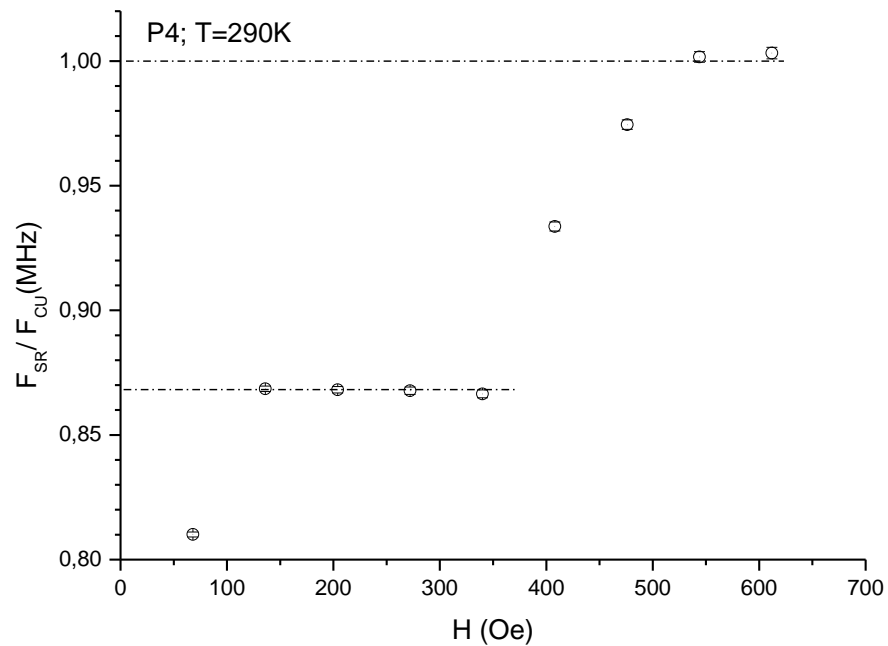
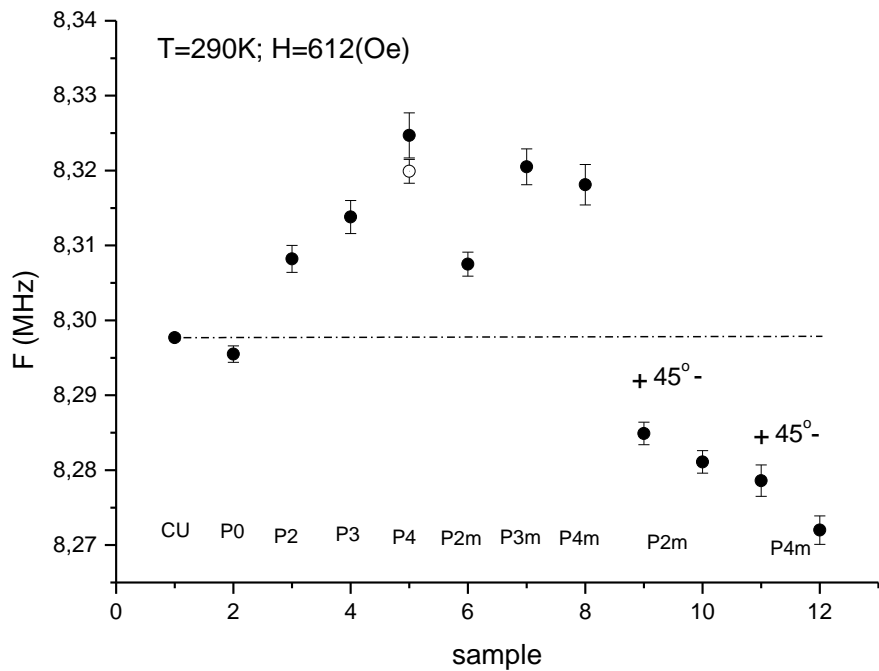
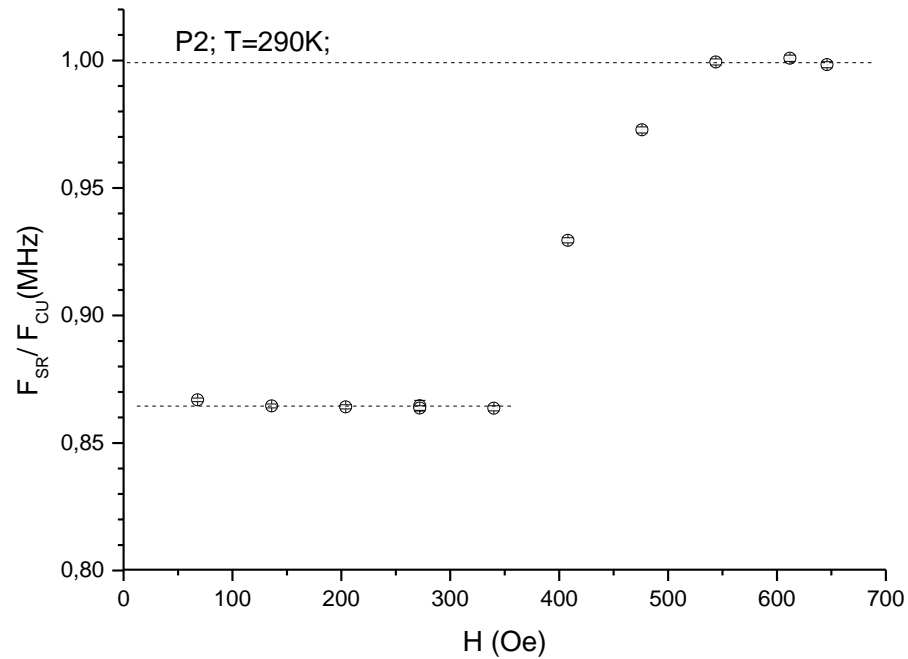
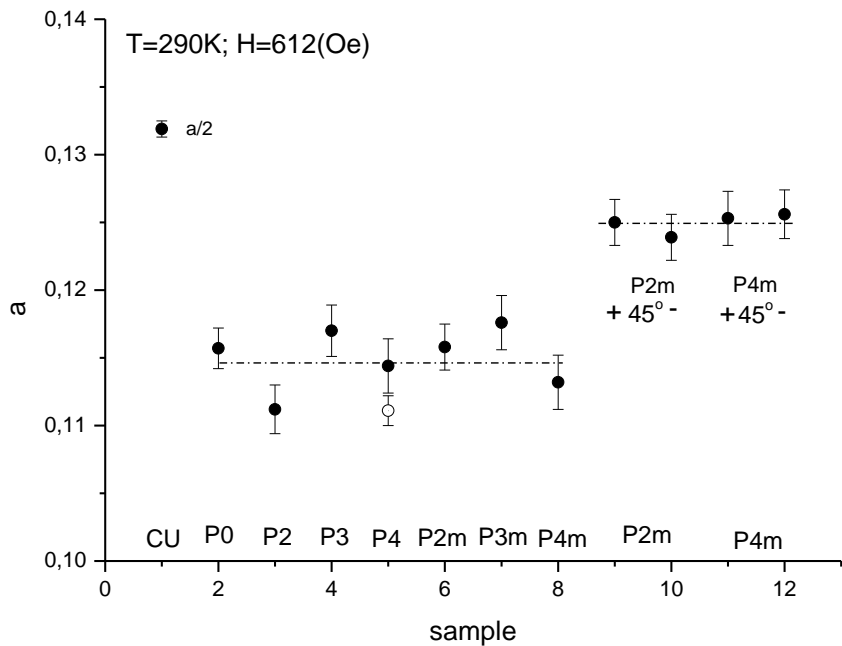
В целом данный материал относится к разряду так называемых «умных материалов» “**smartmaterials**” – *материалов способных обратимо изменять свои свойства под внешним воздействием.* После многочисленных исследований выяснилось, что материал обладает широким набором интересных свойств, прояснился механизм явлений, появились модели, пытающиеся описать наблюдаемые явления.

На сегодняшний день при исследовании **магнитоактивного эластомера** выявлено **ДВЕНАДЦАТЬ** основных свойств.

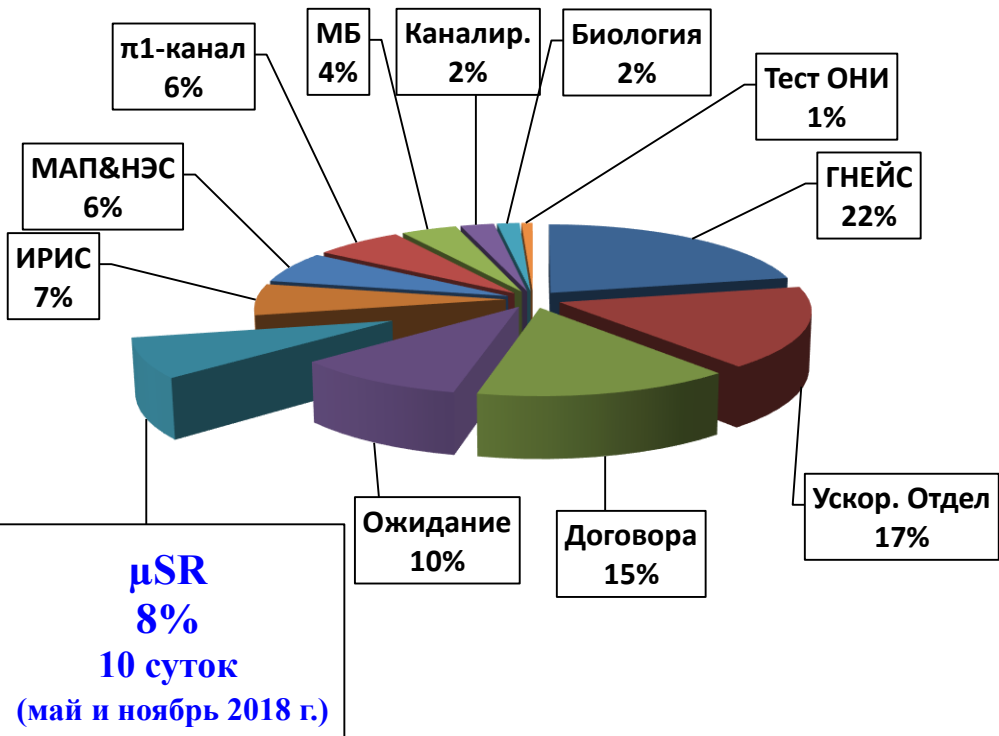
Материал проявляет:

- *магнитореологический эффект,*
- *магнитодеформационный,*
- *магнитострикционный эффект,*
- *эффект памяти формы,*
- *магнитоэлектрореологический эффект,*
- *магниторезистивный эффект,*
- *пьезорезистивный,*
- *магнитопьезорезистивный эффект,*
- *магнитооптический, магнитодиэлектрический,*
- *магнитоакустический эффект,*
- *пьезоэлектрический эффект.*

Таким образом, магнитоактивный эластомер, исследования свойств которого началось 20 лет назад с магнитореологического эффекта, на сегодняшний день проявляет уже двенадцать различных эффектов, которые начнут вскоре находить практическое применение.



Синхроциклотрон СЦ-1000 с ноября 2017 по ноябрь 2018 отработал 2976 часов



**Благодарим всех сотрудников
Ускорительного отдела за их
профессионализм и
самоотверженный труд!**



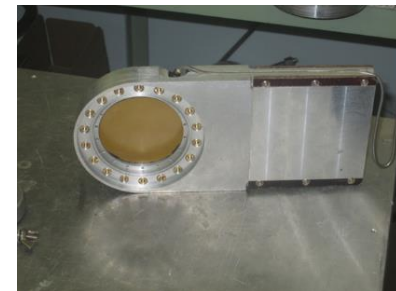
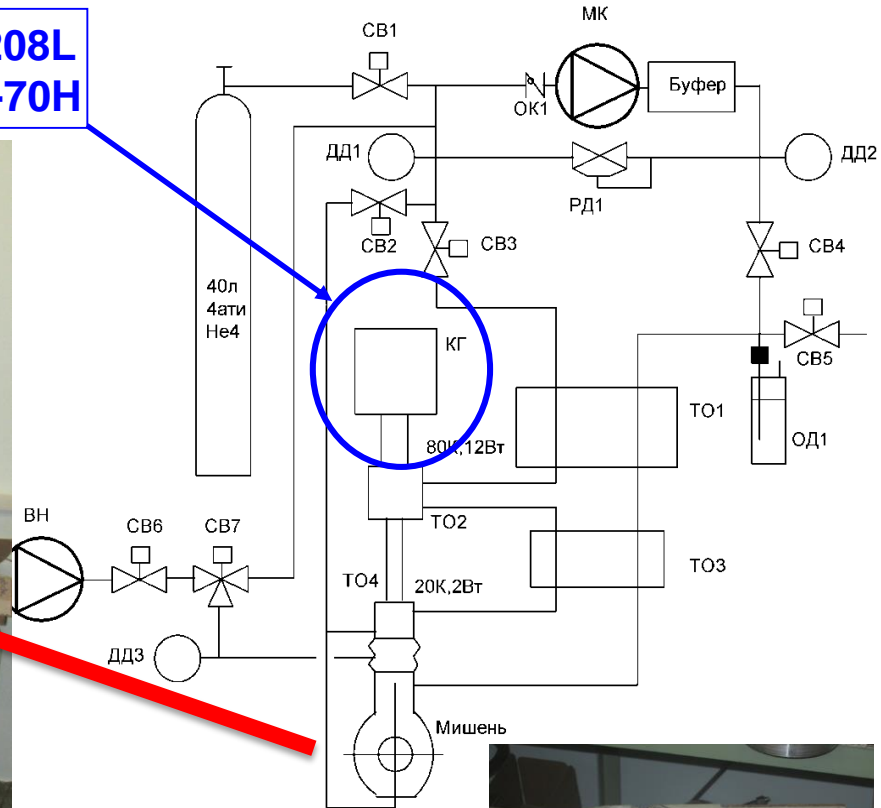
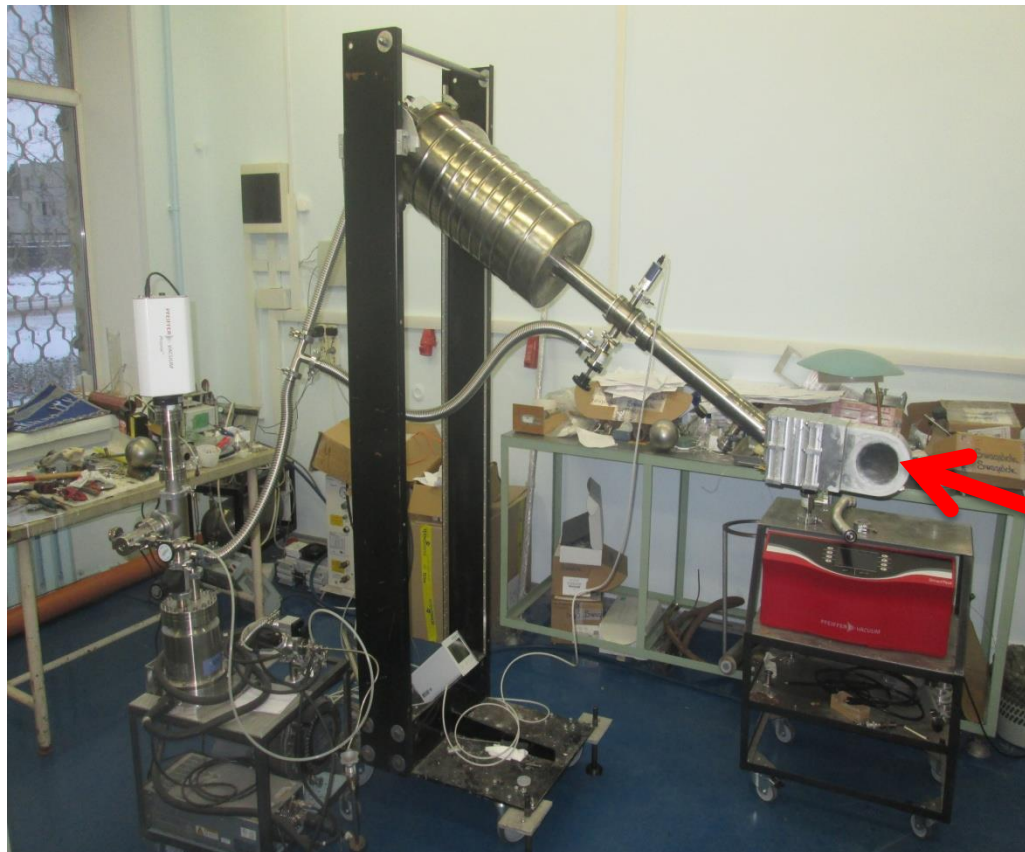
Модернизация установки

Совместно с ЛКСТ

Для чего нужно:

1. Изменять температуру исследуемых образцов в диапазоне 25 – 300 К;
2. Стабильно работать при высоких температурах (200 – 300 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 за 2018 год:

- А.Л. Геталов, С.И. Воробьев, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. Программа MSR2016 для набора данных μ SR-эксперимента. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615720 от 15.05.2018.
- С.И. Воробьев, А.Л. Геталов, Е.Н. Комаров, С.А. Котов, Г.В. Щербаков. μ SR-исследования магнитных свойств легированных манганитов лантана. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, № 6 (113), 2018, стр. 8 – 12.
- С. Fritzsch, S. Barsov, I. Burmeister, S. Dymov, R. Gebel, M. Hartmann, A. Kacharava, A. Khoukaz, V. Komarov, P. Kulesa, A. Kulikov, V. I. Kukulín, A. Lehrach, B. Lorentz, D. Mchedlishvili, T. Mersmann, M. Mielke, S. Mikirtychiants, H. Ohm, M. Papenbrock, M. N. Platonova, D. Prasuhn, V. Serdyuk, H. Ströher, A. Täschner, Yu. Valdaу, C. Wilkin. *Experimental and theoretical study of deuteron-proton elastic scattering for proton kinetic energy between 882.2 MeV and 918.3 MeV. Phys. Lett. B* 784, 277(2018).
- D. Mchedlishvili, Z. Bagdasarian, S. Barsov, S. Dymov, R. Engels, R. Gebel, K. Grigoryev, J. Haidenbauer, M. Hartmann, A. Kacharava, I. Keshelashvili, A. Khoukaz, V. Komarov, P. Kulesa, A. Kulikov, A. Lehrach, N. Lomidze, B. Lorentz, G. Macharashvili, S. Merzliakov, S. Mikirtychiants, M. Nioradze, H. Ohm, M. Papenbrock, D. Prasuhn, F. Rathmann, V. Serdyuk, V. Shmakova, H. Stroehel, M. Tabidze, D. Tsirkov, Yu. Uzikov, Yu. Valdaу, C. Wilkin. *Deuteron analysing powers in deuteron-proton elastic scattering at 1.2 and 2.27 GeV. Nuclear Physics A*, 977, 14-22 (2018).
- V.I. Komarov, D. Tsirkov, T. Azaryan, Z. Bagdasarian, B. Baimurzinova, S. Barsov, S. Dymov, R. Gebel, M. Hartmann, A. Kacharava, A. Khoukaz, A. Kulikov, A. Kunsafina, V. Kurbatov, Zh. Kurmanaliyev, B. Lorentz, G. Macharashvili, D. Mchedlishvili, S. Merzliakov, S. Mikirtychiants, M. Nioradze, H. Ohm, F. Rathmann, V. Serdyuk, V. Shmakova, H. Stroehel, S. Trusov, Yu. Uzikov, Yu. Valdaу, C. Wilkin. *Resonance-like coherent production of a pion pair in the reaction $pd \rightarrow pd\pi\pi$ in the GeV region. Eur. Phys. J. A* (2018) 54: 206.



План на 2019 год:

1. Завершение исследований фазовых переходов и распределения локальных внутренних магнитных полей в образце $Tb_{0,95}Vi_{0,05}MnO_3$.

Совместно с ФТИ и.м.А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург.

2. Исследование наноструктурированных магнитных систем.

Изучение распределения магнитных наночастиц в эластомерной матрице.

Образцы эластомера с объемной концентрацией 0%, 1%, 5%, 10%, 15% однодоменных наночастиц $CoFe_2O_4$ (покрытых слоем додецилсульфата натрия $NaCH_3(CH_2)_{11}OSO_3$ (SDS) и слоя лауриновой кислоты, $C_{11}H_{23}COOH$ (LA).

Совместно с ОИЯИ (Дубна);

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

West University of Timisoara, Timisoara, Romania;

University Politehnica of Bucharest, Romania.

3. Модернизация установки.

Перевоз, монтаж и тестирование криогенной части установки на мюонном канале СЦ-1000.

**С НОВЫМ
ГОДОМ!**

