



μ SRotation
elaxation
esonance
m s
u p
o i
n n



μ SR-ИССЛЕДОВАНИЯ НА СИНХРОЦИКЛОТРОНЕ НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» - ПИЯФ

Воробьев С.И.

Изучение феррожидкости на основе

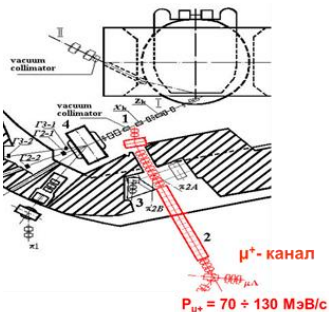
Fe_3O_4 (4,7%) в D_2O

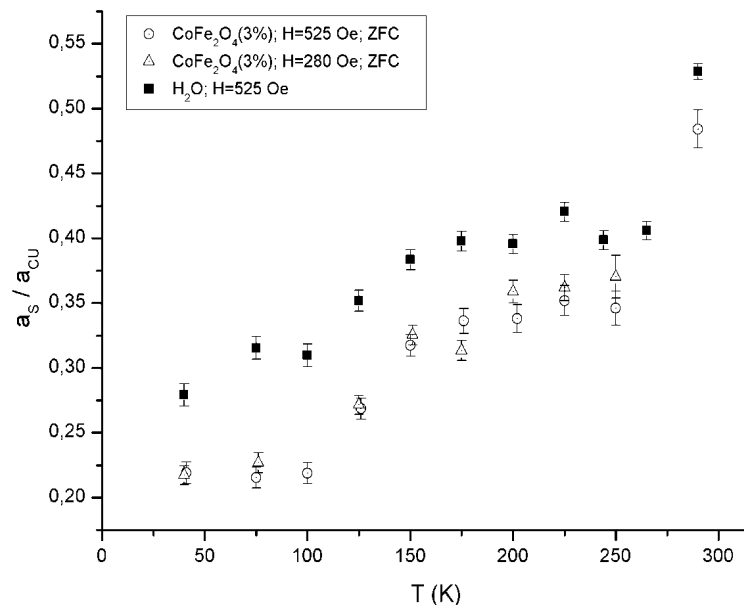
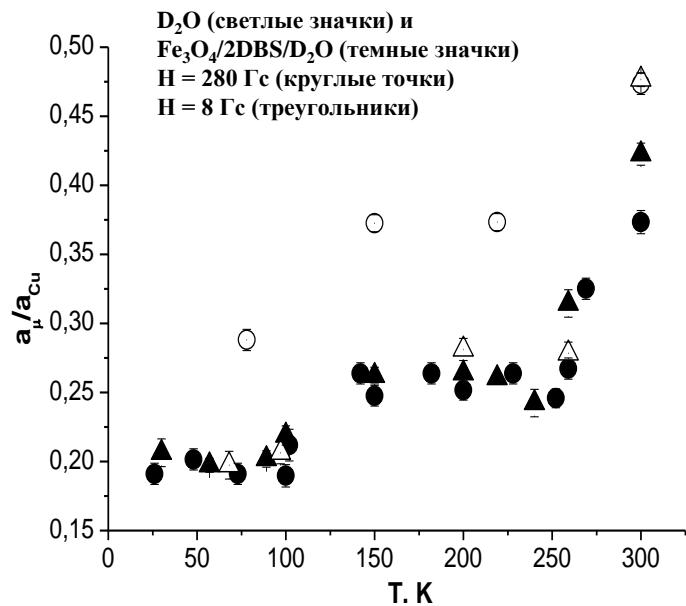
и

$CoFe_2O_4$ (0,5% и 3%) в H_2O

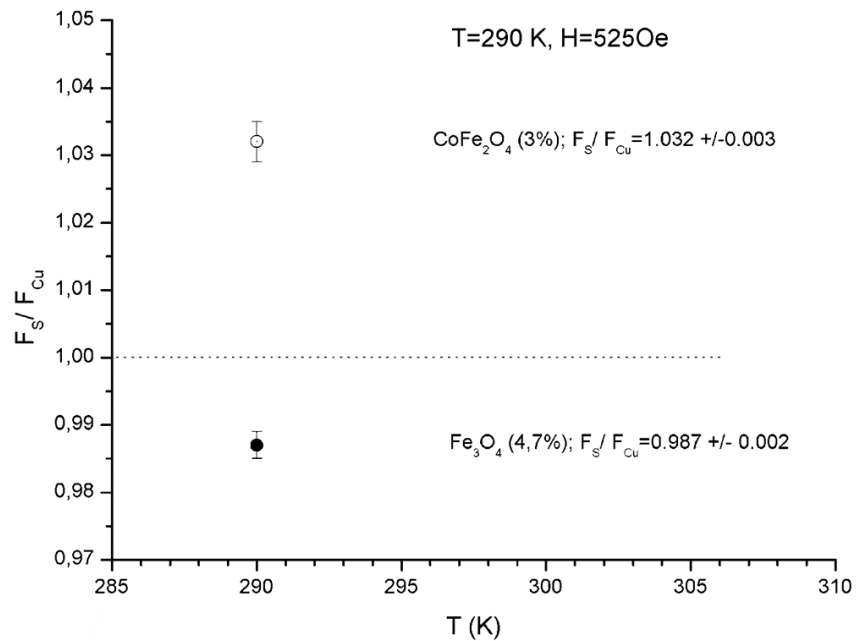
Исследуемая феррожидкость $Fe_3O_4/2DBS/D_2O$ представляла собой суспензию нанодисперсного магнетита Fe_3O_4 в тяжелой воде D_2O , стабилизированного ПАВ – додецилбензолсульфанатовой кислотой 2DBS. Магнитные частицы вместе с окружающей их стабилизирующей кислотой имели средний диаметр $d = 118,9 \text{ \AA}$ 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 $1,2 \text{ г/см}^2$

Образцы феррожидкости $CoFe_2O_4/LA/DDS-Na/H_2O$ 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% и 3%. 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



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=32cm³

P₀ : $\Phi_1=0\%$ at H=0kA/m;

P₁ : $\Phi_1=1\%$ at H=0kA/m;

P₂ : $\Phi_1=5\%$ at H=0kA/m;

P₃ : $\Phi_1=10\%$ at H=0kA/m;

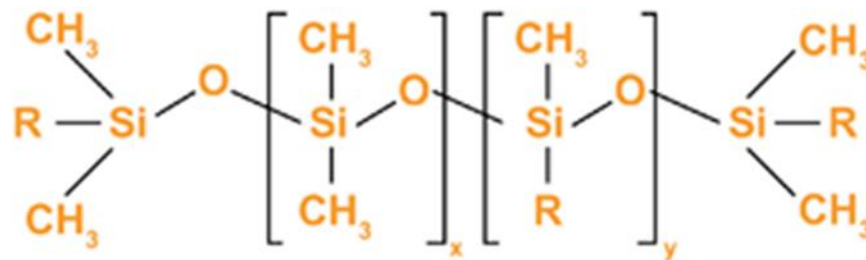
P₄ : $\Phi_1=15\%$ at H=0kA/m.

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

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

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

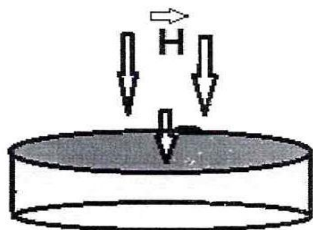
P_{4m} : $\Phi_1=15\%$ at H=80kA/m.



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

В отличие от феррожидкостей, в эластомерной матрице направление легкой оси магнитных наночастиц друг относительно друга и с макроскопическим образом 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.



Sample volume=32cm³

P₀ : Φ₁=0% at H=0kA/m;

P₁ : Φ₁=1% at H=0kA/m;

P₂ : Φ₁=5% at H=0kA/m;

P₃ : Φ₁=10% at H=0kA/m;

P₄ : Φ₁=15% at H=0kA/m.

P_{1m} : Φ₁=1% at H=80kA/m;

P_{2m} : Φ₁=5% at H=80kA/m;

P_{3m} : Φ₁=10% at H=80kA/m;

P_{4m} : Φ₁=15% at H=80kA/m.

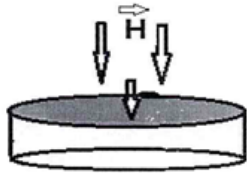
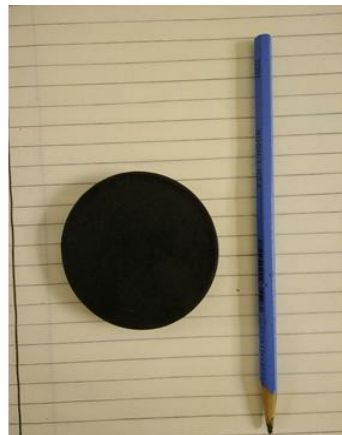


Рис. 1. Образцы эластомеров.



Фотография образца P0
(0% наночастиц CoFe₂O₄)



Фотография образца P4
(15% наночастиц CoFe₂O₄)

Для исследования μ SR-методом магнитных свойств магнито-реологических эластомеров были изготовлены образцы в виде дисков диаметром 64 мм и толщиной 9 мм.

В качестве матрицы использована силиконовая резина (silicon rubber (SR), Globasil AD 27 type, from Globalchimica SRL), в которую перед полимеризацией вводилась феррожидкость. Феррожидкость с 3% концентрацией магнитных наночастиц в воде была стабилизирована с использованием в качестве ПАВ додецилсульфат натрия CH₃(CH₂)₁₁SO₄Na с плотностью $\rho = 1.01 \text{ г/см}^3$ и лауриновой кислоты C₁₁H₂₃COOH с плотностью $\rho = 0.88 \text{ г/см}^3$. Один мл феррожидкости содержал 0.17 г феррита кобальта, а на 1 г CoFe₂O₄ приходилось 0.25 г ПАВ.

Исследованные образцы были синтезированы в Институте технической химии УО РАН. Предварительно проводилось двукратное сепарирование наночастиц по размерам на центрифуге «Biofuge 15R» в течение 60 минут при 6000 об/мин.

Распределение частиц по размерам было исследовано в Центре перспективных технологий (Сколково) с использованием трансмиссионного электронного микроскопа высокого разрешения LEO 912 AB OMEGA с ускоряющим напряжением 120 кВ.

Распределение наночастиц по размерам аппроксимировано функцией логарифмически нормального распределения и определены следующие значения параметров: $D_0 = 7.8 \pm 0.1 \text{ нм}$, $\sigma = 0.40 \pm 0.01 \text{ нм}$ с математическим ожиданием $\bar{D} = D_0 \cdot \exp(\sigma^2/2) = 8.5 \text{ нм}$.

Подготовлено два набора образцов с концентрацией 0, 5, 10 и 15% с неупорядоченной и с упорядоченной ориентацией магнитных моментов наночастиц CoFe₂O₄.

Полимеризация образцов второго набора была проведена в магнитном поле 80 кА/м, перпендикулярном плоскости диска.

На рисунке 1 показано поведение асимметрии в зависимости от концентрации наночастиц в образце. Видно, что проводящие свойства образцов не зависят от концентрации примеси. Во всех образцах больше половины остановившихся мюонов образуют мюоний и быстро теряют поляризацию за время меньше 9 нс.

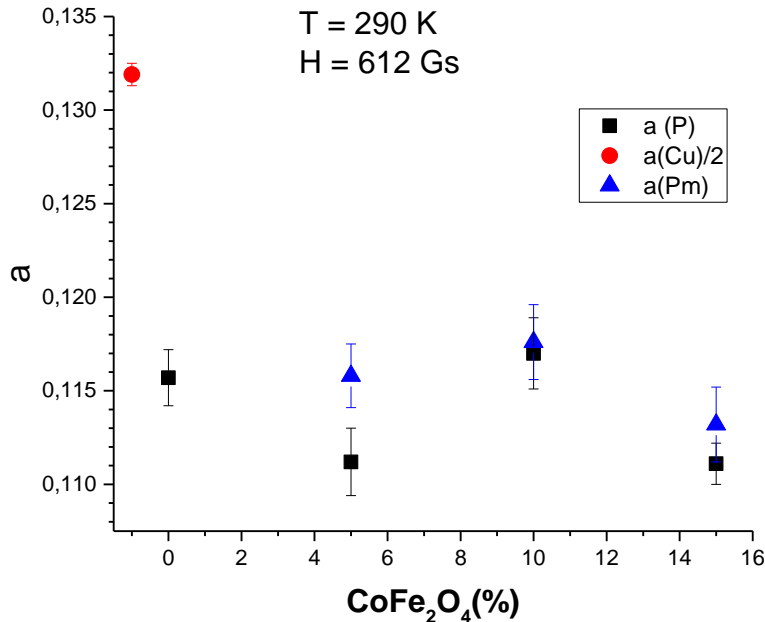


Рис. 1. Зависимость амплитуды прецессии спина мюона от величины концентрации CoFe_2O_4 .

На рисунке 2 показано поведение параметра λ в зависимости от концентрации магнитных наночастиц в образцах. Наблюдается устойчивый рост скорости релаксации поляризации мюонов, остановившихся в образце, по мере увеличения количества наночастиц CoFe_2O_4 в исследуемых образцах. В образцах P_m с упорядоченным состоянием магнитных моментов наночастиц наблюдается небольшое замедление роста параметра релаксации поляризации с увеличением количества примесных наночастиц.

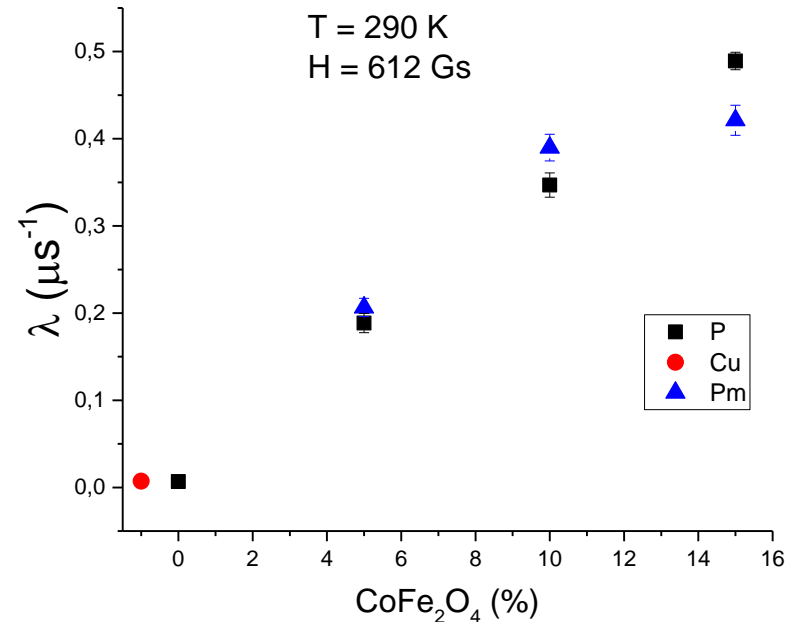


Рис. 2. Зависимость скорости релаксации поляризации мюона от концентрации наночастиц CoFe_2O_4 : чёрные квадраты – P образцы, синие треугольники – P_m образцы и красная точка – медный образец.

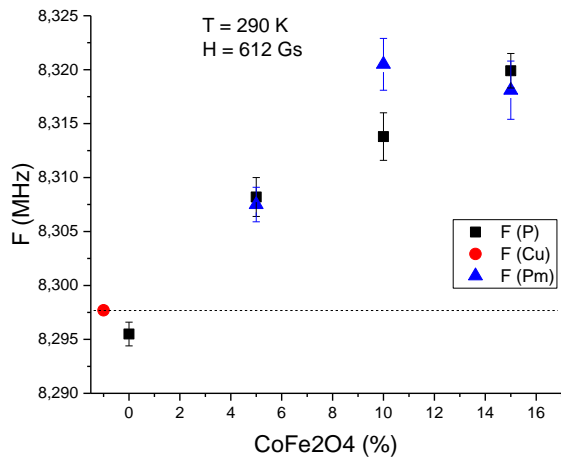


Рис. Зависимость частоты прецессии спина мюона от концентрации наночастиц CoFe_2O_4 при температуре 290 К в магнитном поле $H = 612 \text{ Гс}$: чёрные квадраты – P образцы, синие треугольники – P_m образцы и красная точка – медный образец.

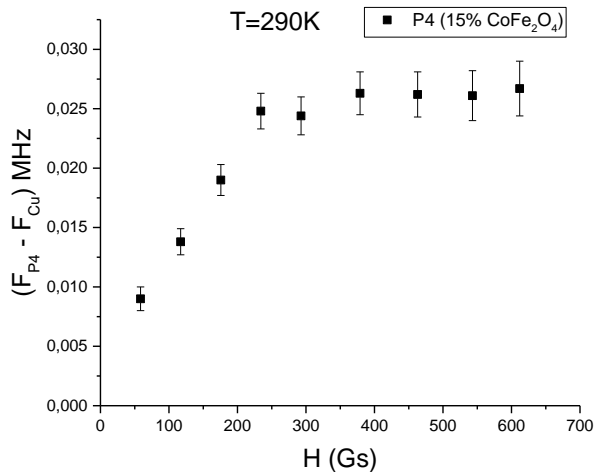


Рис. Зависимость сдвига частоты прецессии спина мюона от величины внешнего магнитного поля при $T = 290 \text{ К}$ в эластомере P4 (15% CoFe_2O_4). Вид этой зависимости характерен для парамагнетика (суперпарамагнетика) во внешнем поле. Добавка к внешнему полю достигает почти 2 Гс (1.96(17) Гс).

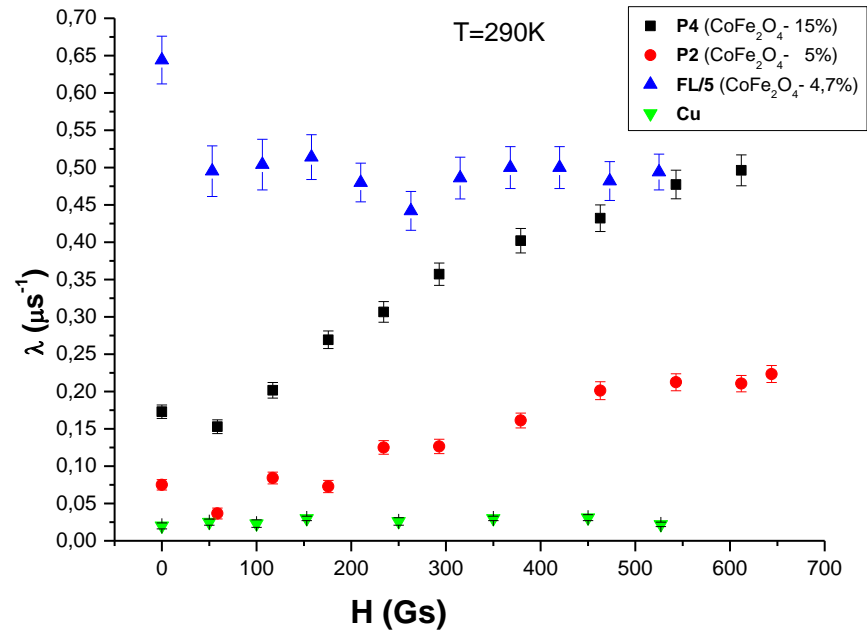
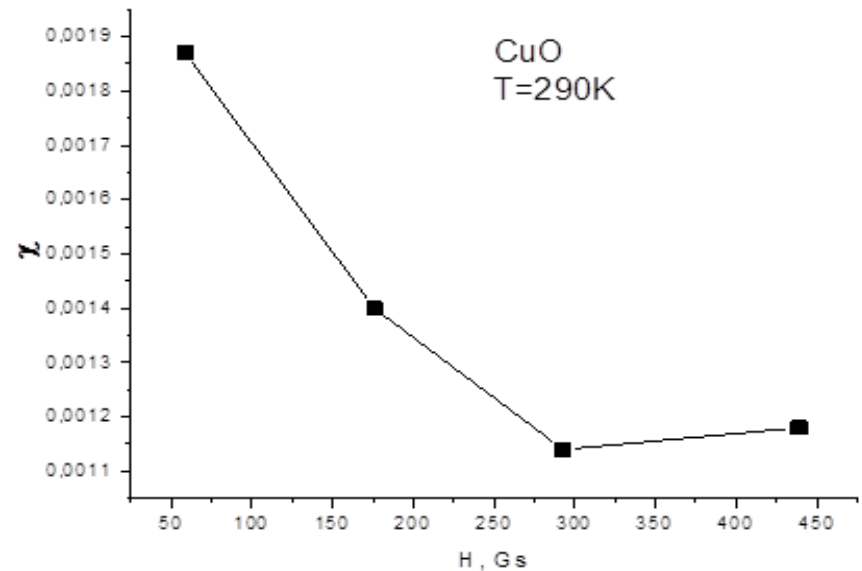
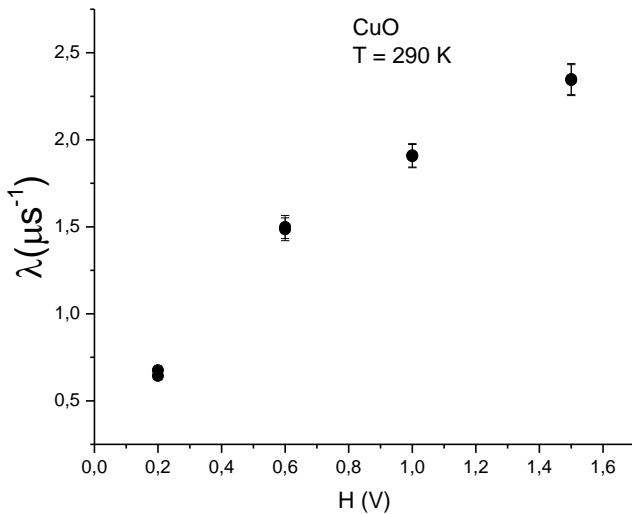
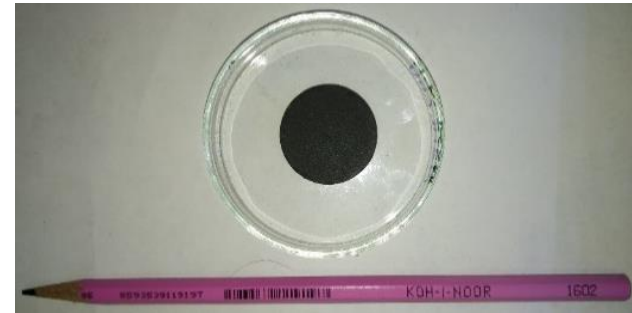
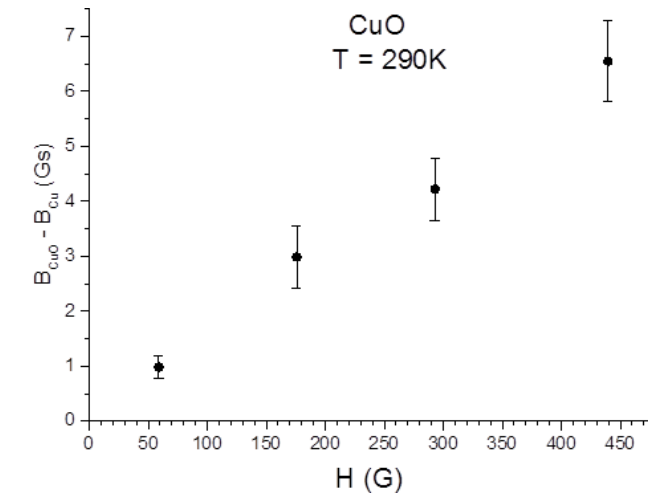


Рис. Зависимость скорости деполяризации мюона от магнитного поля: квадраты – эластомер P4 (15% CoFe_2O_4), красные точки - образец эластомера P2 (5% CoFe_2O_4), синие треугольники - феррожидкость 3% CoFe_2O_4 , делённые на 5, зелёные треугольники – Cu.

Исследования необходимо продолжить

μSR-эксперименты по исследованию наноструктурного образца CuO



Образец оксида меди CuO впервые был изготовлен по новой технологии путем электродугового испарения графитового электрода, содержащего медь. Получены предварительные результаты измерения магнитной восприимчивости χ .

Исследования будут продолжены для температур ниже комнатной. Параллельно проводятся измерения магнитной восприимчивости χ на имеющемся в лаборатории криомагнетометре, позволяющем проводить исследования в магнитных полях до 0,5 кГс при температурах 180-300 К.

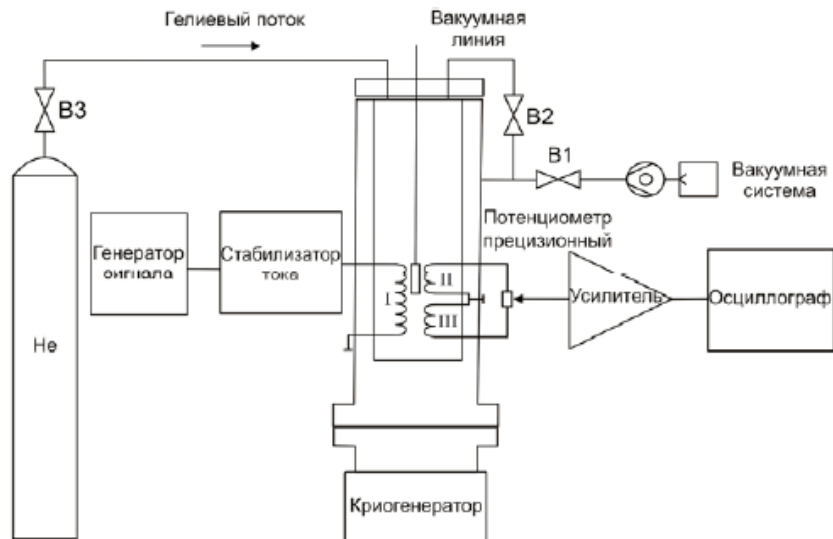


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

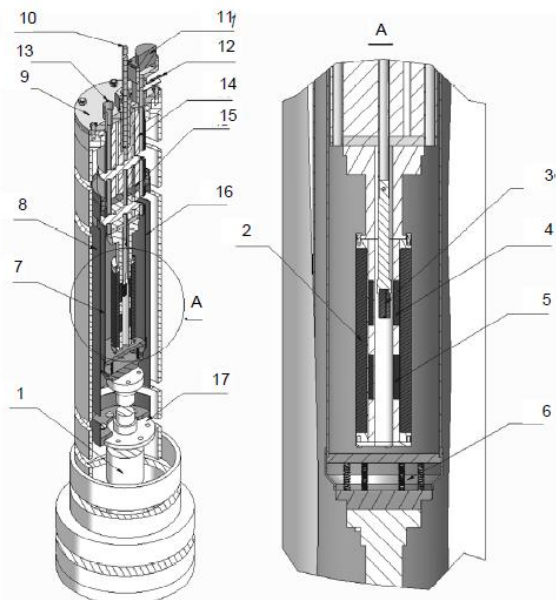


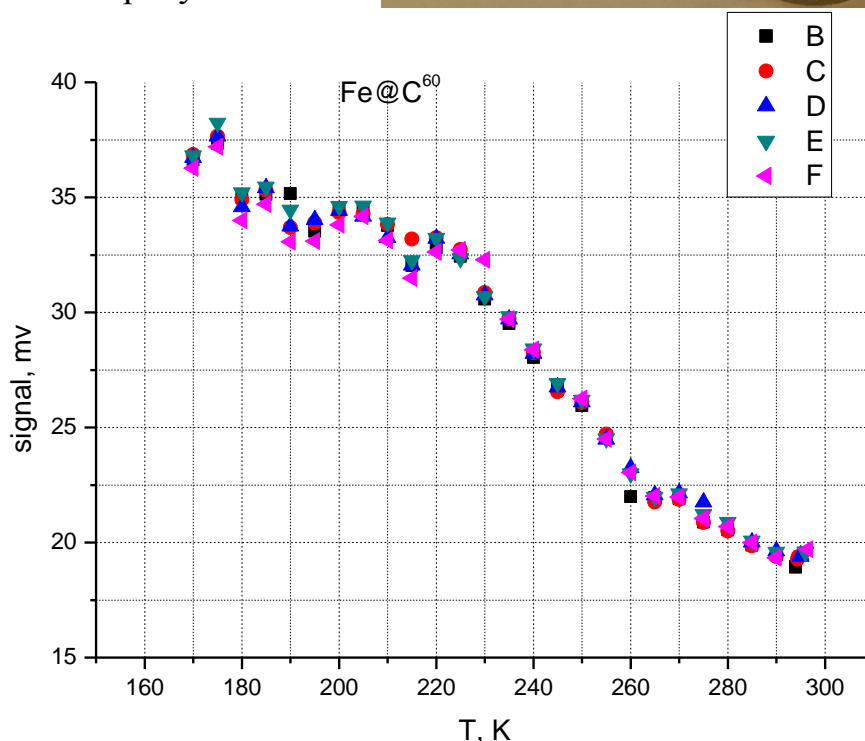
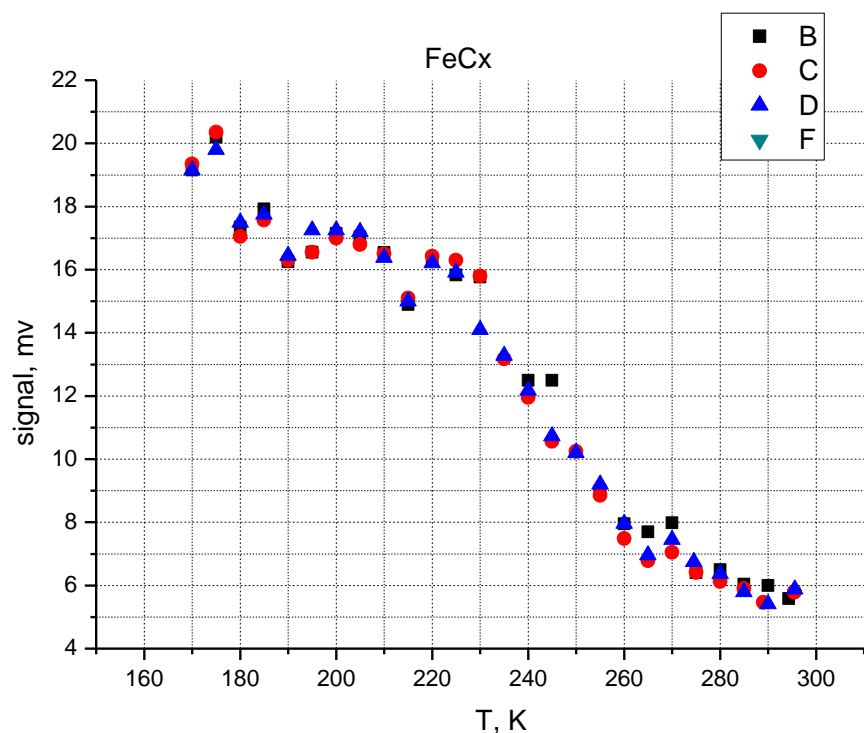
Рис. 2. Схема конструкции магнитометра: 1 – криогенератор; 2 – задающий соленоид; 3 – исследуемый образец; 4 – измерительный соленоид; 5 – опорный соленоид; 6 – вибрационная развязка; 7 – биметаллическая шахта криостата; 8 – вакуумная изоляция; 9 – верхний фланец криостата; 10 – держатель трансформатора взаимной индукции; 11 – разъем для сигнальных проводов; 12, 13 – штуцеры для подвода и откачки хладагента; 14 – тепловая изоляция; 15 – тепловой перехват; 16 – экран для перехвата теплового излучения; 17 – первая ступень криогенератора



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.*

Налажено сотрудничество с Лабораторией химии и спектроскопии углеродных материалов Отдела наноструктурированных материалов ОНР. Исследования посвящены изучению магнитных свойств наноструктурных образцов оксида меди CuO и эндометаллофуллеренов $C^{60}@Fe$ (в перспективе и с редко-земельными ионами).

К настоящему моменту есть результаты измерения магнитной восприимчивости прекурсора FeC^x , а также образца эндометаллофуллерена $Fe@C^{60}$ в диапазоне температур 170К – 300К в нулевом магнитном поле. Результаты демонстрируются на рисунках:



Сигнал в единицах мВ пропорционален магнитной восприимчивости и должен быть отнормирован по результатам калибровки на магнитометре. Образцы отправлены для калибровки в СПбГУ.

Мы намерены в дальнейшем исследовать гистерезисные свойства этих материалов в магнитном поле, а также провести соответствующие μSR -измерения на ускорителе ПИЯФ.



Interparticle magnetic interactions in synthetic ferrihydrite: Mössbauer spectroscopy and magnetometry study of the dynamic and static manifestations

Yu.V. Knyazev^{a*}, D.A. Balaev^{a,b}, S.V. Stolyar^{a,b,c}, A.A. Krasikov^a, O.A. Bayukov^a, M.N. Volochaev^a, R.N. Yaroslavtsev^{a,c}, V.P. Ladygina^c, D.A. Velikanov^a, R.S. Iskhakov^a

^a Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS, Akademgorodok 50, bld. 38, Krasnoyarsk 660036, Russia
^b Siberian Federal University, Svobodnyy 79, Krasnoyarsk 660041, Russia
^c Krasnoyarsk Scientific Center, Federal Research Center KSC SB RAS, Akademgorodok 50, Krasnoyarsk 660036, Russia

Интересно магнитное взаимодействие между суперпарамагнитными частицами на примере наночастиц ферригидрита (номинальная химическая формула $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Во взаимодействующих частицах возникает две несвязанные (или слабосвязанные) магнитные системы - поверхностные спины и результирующий момент частиц. Соответственно, локальные магнитные поля в этих подсистемах будут разные, как за счёт магнитного окружения, так и за счёт разной скорости релаксации.

Идея такая – с помощью вращения спина мюона посмотреть магнитную релаксацию образца с взаимодействиями и без них. И попробовать по разнице спектров оценить влияние взаимодействий на динамику спинов.



*Условия образования ферригидрита существенно влияют на физические свойства его наночастиц, в частности, на его кристалличность и взаимодействия между отдельными частицами. Магнитные свойства, и соответственно применение, сильно зависят от структуры частицы. Плотное ядро обеспечивает наночастицам лучшие магнитные свойства и делает его более подходящим для применения в медицине, к примеру, для доставки лекарств или точечного теплового воздействия на очаги заболеваний в организме», — прокомментировал результаты исследования **Юрий Князев**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института физики им. Л.В. Киренского Красноярского научного центра СО РАН.*

https://ksc.krasn.ru/news/razmer_vazhen_tolko_krupnye_nanochastitsy_iz_bakteriy_mogut_primenyatsya_v_meditnine/?ysclid=lqlz9amc4h162159450

Замкнутая система охлаждения исследуемых образцов на базе современного криогенератора



Модернизация криогенной части μ SR-установки вызвана, прежде всего, необходимостью **сократить потери хладагента (гелия)**, которые на настоящий момент составляют 20%. Проведение мер изложенных ниже позволит снизить эти потери **до минимума (~ 1%)**.

Для проведения μ SR-исследований предлагается криостат с принудительной циркуляцией гелия по всему замкнутому криогенному контуру, где охлаждающий хладагент непосредственно обдувает исследуемый объект. Такая конструкция снизит потери хладагента до 1 – 1,5%, так как **позволит отказаться от использования сосуда Дьюара**.

Чтобы работа криостата и криогенератора была стабильной, а также исключить приток тепла **необходимо организовать систему с высоким уровнем вакуума**, это потребует **наличие турбомолекулярного насоса с пультом управления и вакуумного контроля**, а также **чиллер для отвода тепла**.

Для того, чтобы закончить модернизацию криогенной части μ SR-установки требуется закупка иностранного оборудования:

№ п/п	Наименование иностранного оборудования, изготовитель, страна происхождения	Возможность закупки аналогов
1.	Турбомолекулярный насос Agilent Turbo-V 81-T, Agilent Technologies, Германия.	Ограничена, отечественных аналогов нет, возможна замена на другого производителя: - Вакуумный Насос с Контроллером FF-100/150E, DN100ISO-K Производитель: KYKY Technology Development LTD - Вакуумный Насос с Контроллером FF-63/80E DN63 ISO-K Производитель: KYKY Technology Development LTD
2.	Чиллер для охлаждения воды OMI CHA 11, STD OMI, Италия.	Ограничена, отечественных аналогов нет, возможна замена на другого производителя: Чиллер RSA-U5, 12600 кКал/час (Китай)

Выполнение мероприятий по модернизации μ SR-установки позволит завершить создание замкнутой системы охлаждения исследуемых образцов, что, в свою очередь, даст возможность проведения более полных исследований магнитных свойств материалов в температурном диапазоне от 20 К до 300 К.



Модернизация вакуумной системы

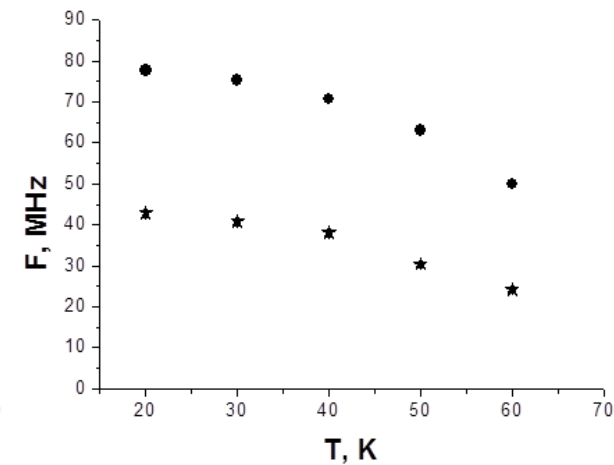
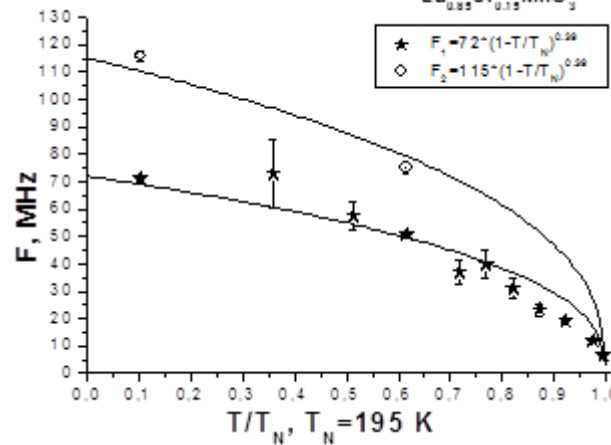
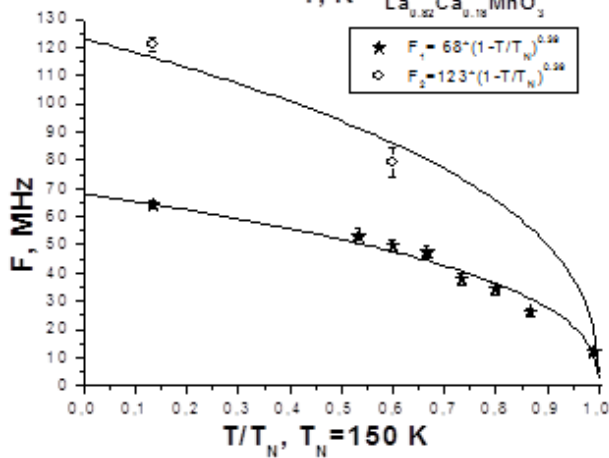
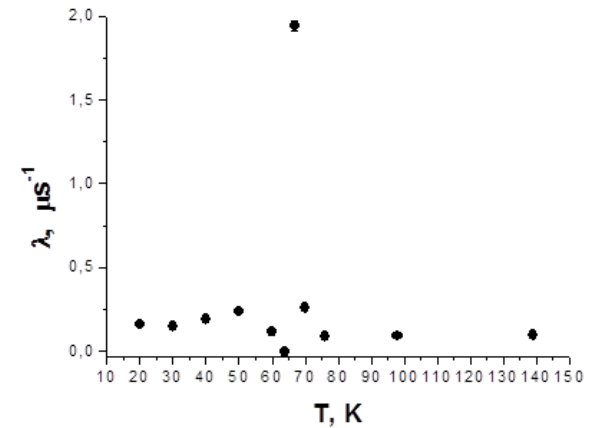
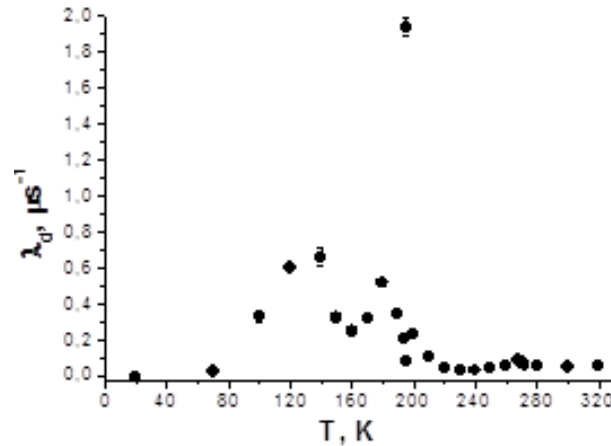
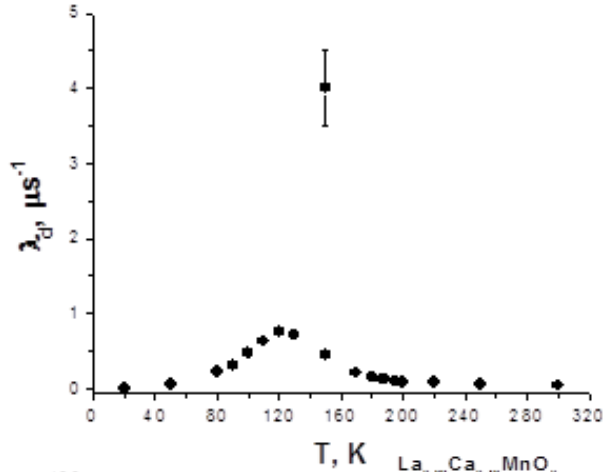
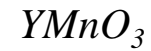
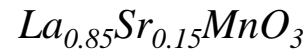
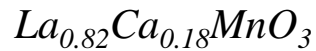
В ПИЯФ мюонный метод начал развиваться с 1976 года, когда был пущен в эксплуатацию мюонный канал синхроциклотрона (СЦ-1000). Мюонному каналу уже более **45 лет**. На протяжении всего времени эксплуатации **канал ни разу не модернизировался**. В целях улучшения его характеристик и повышения возможностей μ SR-установки предлагается понизить рассеяние пучка мюонов в канале. Для этого необходимо провести модернизацию вакуумной части канала. **Улучшение вакуума приведет к увеличению интенсивности пучка**, что даст **выигрыш по временному набору статистических данных** и позволит при коллимации **уменьшить размер падающего на образец пучка** с интенсивностью, не хуже существующей на настоящий момент, даст возможность **уменьшить импульс ансамбля мюонов с 90 МэВ/с до 60 МэВ/с**. Это позволит **проводить исследования с образцами меньшими по диаметру и толщине**, т.к. изготовление образцов больших размеров связано с большими затратами и не всегда возможно с технической точки зрения.

Газовая нагрузка в вакуумной части μ -канала определяется потоком теплового газовыделения с поверхности конструктивных материалов и неконтролируемым атмосферным натеканием через микротрещины, сварные швы, разъемные соединения и т.п. Для высоковакуумной откачки можно использовать молекулярный турбонасос ТМН-500. Предварительный вакуум для работы ТМН-500 создаст форвакуумный насос (ФН) АВЗ-20.

Сопутствующими и необходимыми приборами и материалами для успешной работы μ -канала являются:

Наименование	Кол-во, шт.
Вакуумметр цифровой	1
Вакуумметр стрелочный	1
Преобразователь (лампа ПМТ-2)	3
Преобразователь (лампа ПМИ-2)	3
Преобразователь (лампа ПМТ-4)	3
Вакуумные шланги	
Клапан эл. магнитный КМУ-25	2
Затвор вакуумный ЗВЭ-100	3
Вакуумметр теплоэлектрический блокировочный 13 ВТЗ-003	3
Азотная ловушка	1

μSR-ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЛЕГИРОВАННЫХ МАНГАНИТОВ ЛАНТАНА



Для исследованных образцов, зависимость частоты прецессии от температуры хорошо аппроксимируется кривой Кюри-Вейса: $F \sim F_{max} \cdot (1 - T/T_N)^\beta$ с показателем $\beta = 0,39 \pm 0,02$, что соответствует модели 3D-магнетика Гейзенберговского типа

