



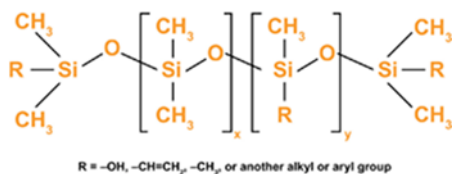
μ SR
rotation
relaxation
resonance
m s
u p
o i
n n



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

Воробьев С.И.

Исследование эластомеров с наночастицами CoFe_2O_4 с помощью μSR -метода



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 $H=80\text{kA/m}$.

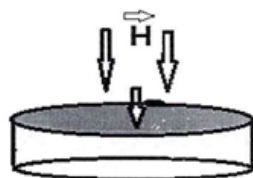


Рис. 1. Образцы эластомеров.



Фотография образца P0
(0% наночастиц CoFe_2O_4)



Фотография образца P4
(15% наночастиц CoFe_2O_4)

Для исследования μSR -методом магнитных свойств магнитореологических эластомеров были изготовлены образцы в виде дисков диаметром 64 мм и толщиной 9 мм.

Подготовлено два набора образцов с концентрацией 1, 5, 10 и 15% с неупорядоченной и с упорядоченной ориентацией магнитных моментов наночастиц CoFe_2O_4 .

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

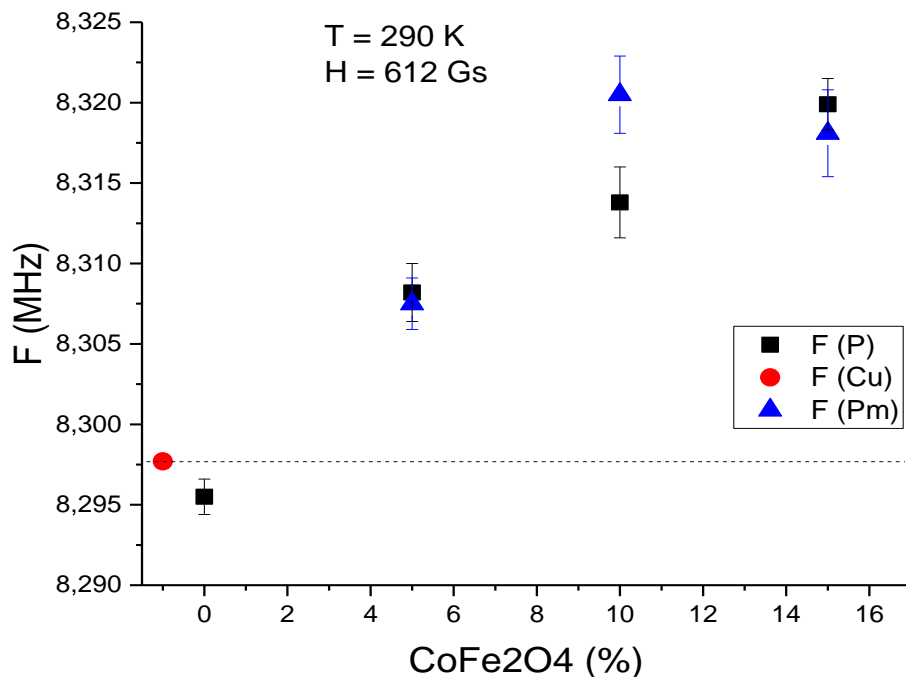
В качестве матрицы использована силиконовая резина (silicon rubber (SR), Globasil AD 27 type, from Globalchimica SRL), в которую перед полимеризацией вводилась феррожидкость.

Феррожидкость с 3% концентрацией магнитных наночастиц в воде была стабилизирована с использованием в качестве ПАВ додецилсульфат натрия $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4\text{Na}$ с плотностью $\rho = 1.01 \text{ г/см}^3$ и лауриновой кислоты $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$ с плотностью $\rho = 0.88 \text{ г/см}^3$. Один мл феррожидкости содержал 0.17 г феррита кобальта, а на 1 г CoFe_2O_4 приходилось 0.25 г ПАВ.

Распределение наночастиц по размерам:

$$D_0 = 7.8 \pm 0.1 \text{ нм}, \sigma = 0.40 \pm 0.01 \text{ нм}.$$

Исследование эластомеров с наночастицами CoFe_2O_4 с помощью μSR -метода



μSR -методом было проведено исследование магнитных свойств эластомеров в зависимости от концентрации наночастиц CoFe_2O_4 во внешнем поперечном магнитном поле 612 Гс при температуре 290 К. Измерена величина магнитного поля, создаваемого однодоменными наночастицами CoFe_2O_4 , которая увеличивается пропорционально концентрации наночастиц.

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

В.С. Лобин, С.И. Воробьев, Е.В. Виноградов, А.Л. Геталов, Е.Н. Комаров, С.А. Котов. *Исследование эластомеров с наночастицами CoFe_2O_4 с помощью μSR -метода. XI Всероссийский молодежный научный форум с международным участием “Open Science 2024”, 13–15 ноября 2024 года, г. Гатчина.*

Исследования необходимо продолжить



00100000
00053485
00055844
00033941
00000637
00107619
00078396
00031777
00007076

00100000
00053485
00013737
00009103
00000812
00091726
00066719
00092478
00015606

Исследование феррожидкости на основе Fe_3O_4 в среде D_2O с помощью μSR -метода

Экспериментальные данные по феррожидкости приводятся в сравнении с аналогичными данными для тяжелой воды, которая в образце $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ занимает $\sim 95\%$ его объема. Для D_2O были выполнены отдельные измерения при нескольких температурах.

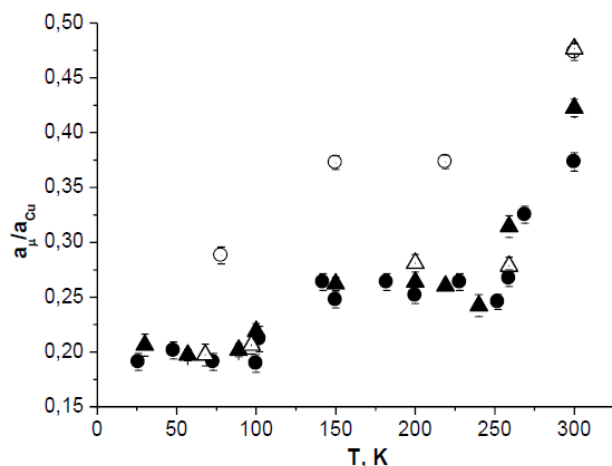


Рис. 1. Зависимость доли асимметрии мюонной компоненты от температуры в образцах D_2O (светлые значки) и $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ (темные значки) во внешних поперечных магнитных полях 280 Гс (круглые точки) и 8 Гс (треугольники).

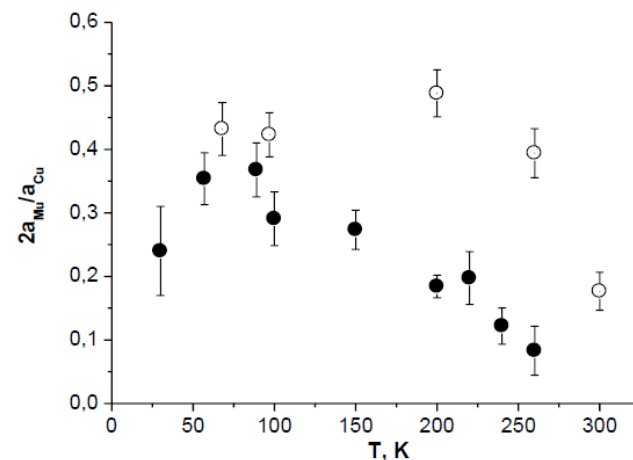


Рис. 2. Зависимость доли асимметрии мюониевой компоненты от температуры в образцах D_2O (светлые значки) и $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ (темные значки) в слабом поперечном магнитном поле 8 Гс

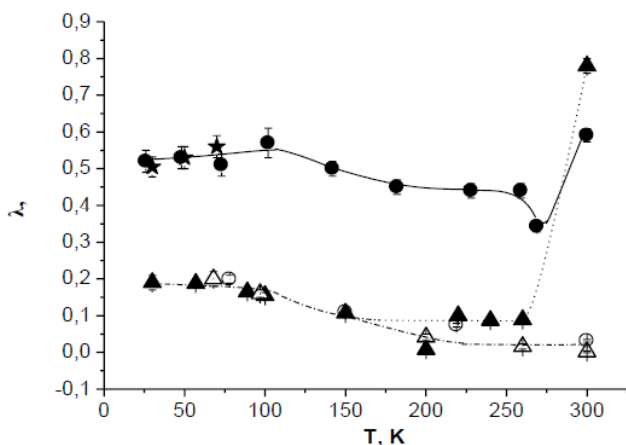


Рис. 3. Зависимость скорости релаксации спина мюона от температуры образцов D_2O (светлые значки) и $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ (темные значки) в поперечных магнитных полях 8 Гс (треугольники) и 280 Гс (точки); звездочками отмечены результаты ZFC-измерений во внешнем магнитном поле 280 Гс. Линии проведены для лучшей визуализации соответствующих температурных зависимостей

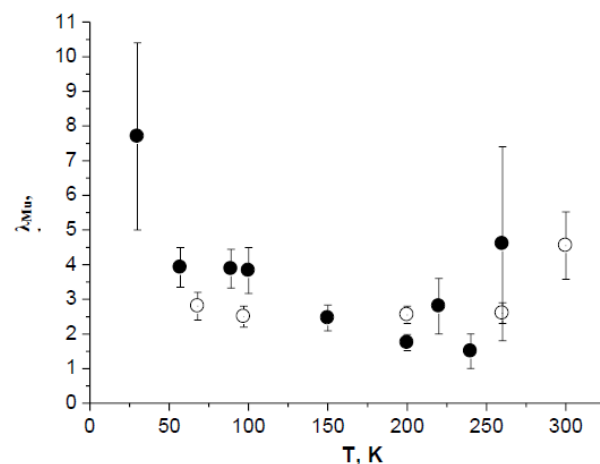


Рис. 4. Зависимость скорости релаксации спина мюония от температуры образцов D_2O (светлые значки) и $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ (темные значки) в поперечном магнитном поле 8 Гс

Исследование феррожидкости на основе Fe_3O_4 в среде D_2O с помощью μSR -метода

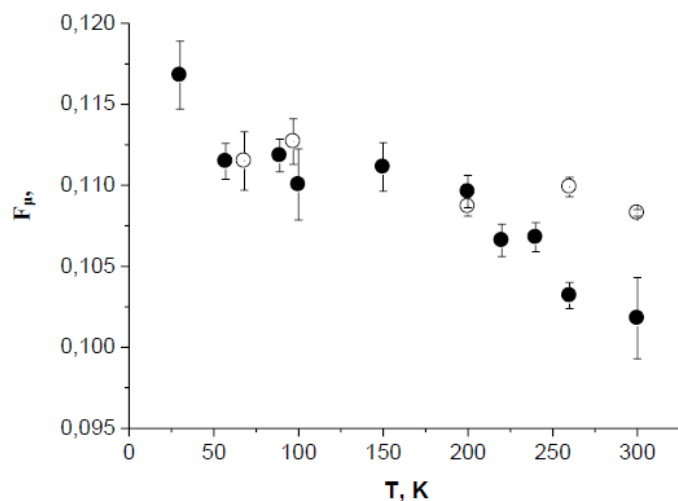


Рис. 5. Зависимость частоты прецессии спина мюона от температуры в образцах D_2O (светлые значки) и $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ (темные значки) во внешнем поперечном магнитном поле с напряженностью 8 Гс

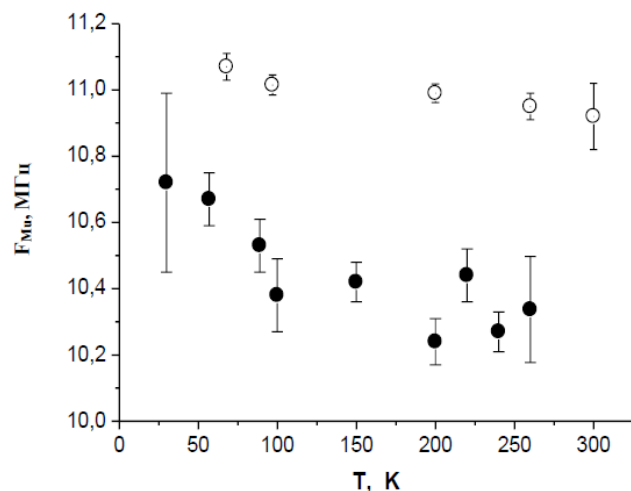


Рис. 7. Зависимость частоты прецессии спина мюония от температуры в образцах D_2O (светлые точки) и $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ (черные точки) во внешнем поперечном магнитном поле 8 Гс (поле определено по частоте прецессии спина мюона в медном образце)

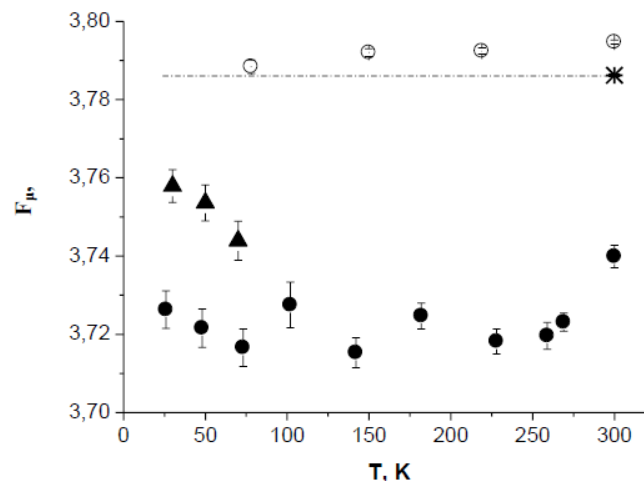


Рис. 6. Зависимость частоты прецессии спина мюона от температуры образцов D_2O (светлые значки) и $\text{Fe}_3\text{O}_4/2\text{DBS}/\text{D}_2\text{O}$ (темные значки) во внешнем поперечном магнитном поле 280 Гс. Треугольниками показаны результаты ZFC-измерений. Звездочкой показана частота мюонной прецессии в эталонном медном образце. Измерения при температуре 300 К на всех указанных образцах производились без выключения магнитного поля

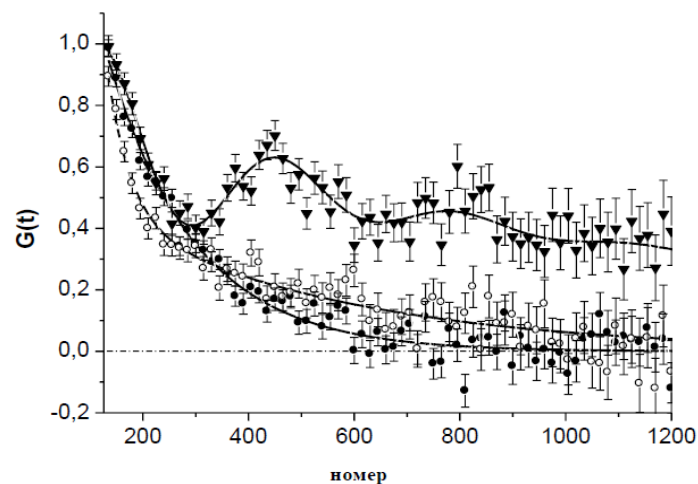


Рис. 11. Функции релаксации поляризации мюонов в образце феррожидкости в нулевом внешнем магнитном поле при температурах 300 К (черные точки), 215 К (треугольники), 97 К (светлые точки); 1 канал = 4,9 нс

Исследование феррожидкости на основе Fe_3O_4 в среде D_2O с помощью μSR -метода

В заключение отметим, что наблюдается значительное изменение характеристик μSR -спектров в исследованной нами феррожидкости по сравнению с такими же характеристиками в тяжелой воде, которая составляет основу образца.

Доля диамагнитной (мюонной) компоненты в D_2O зависит от величины внешнего магнитного поля, в феррожидкости такой зависимости не наблюдается (рис. 1).

Наблюдается одинаковая температурная зависимость доли мюонной фракции в феррожидкости и в тяжелой воде, но скорость релаксации мюонной фракции в феррожидкости при $T > 100$ К существенно выше скорости релаксации этой же фракции в D_2O (рис. 1 и рис. 3).

В области температур $100 \div 300$ К во внешнем магнитном поле в феррожидкости наблюдается значительное подавление мюониевой фракции по отношению к аналогичной фракции в D_2O , причем скорости релаксации поляризации по мюониевой компоненте для обоих образцов практически не зависят от температуры последних (рис. 2, рис. 4).

Для той и другой фракции отклонения в поведении характеристик в феррожидкости от характеристик в образце D_2O в наибольшей степени наблюдаются в твердой и в жидкой фазах вблизи точки плавления.

В феррожидкости в поперечном спину мюона магнитном поле имеет место сдвиг частоты прецессии спинов, как мюона, так и мюония по отношению к частоте прецессии в D_2O .

В отсутствие внешнего магнитного поля в образцах феррожидкости и D_2O в диапазоне температур $150 \div 250$ К в функциях релаксации поляризации наблюдаются осцилляции, связанные с взаимодействием квадрупольного момента атома мюония с неоднородным электрическим полем кристаллической решетки льда. Частота осцилляций в указанном диапазоне температур остаётся практически неизменной и не зависит от наличия наночастиц магнетита в поликристаллах льда.

Доля мюониевой компоненты в феррожидкости в отсутствие внешнего магнитного поля составляет существенно большую величину по сравнению с долей, наблюдаемой в слабом внешнем магнитном поле. Особенно это проявляется в области высоких температур (> 150 К). Совершенно иначе ведет себя доля мюониевой компоненты в образце D_2O .

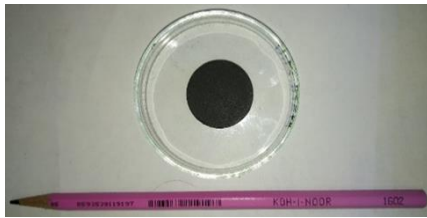


ISSN Print 2413-5291
НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ УЧЕНЫХ (НАУ)
DOI: 10.31618/NAS.2413-5291.2024.1.101

**Ежемесячный
научный журнал
Том 1 №101 / 2024**

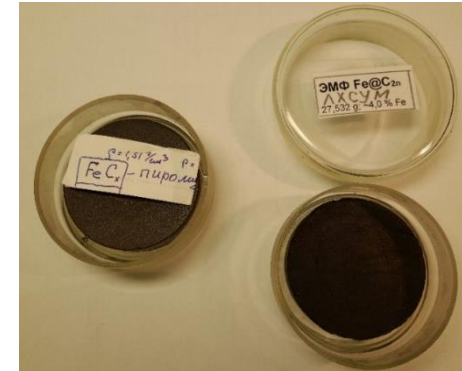
Воробьев С.И., Геталов А.Л., Комаров Е.Н., Котов С.А., Лобин В.С., Щербаков Г.В.
Влияние магнитных наночастиц на поведение поляризованных положительных мюонов в феррожидкости на основе Fe_3O_4 в среде D_2O . Ежемесячный научный журнал «Национальная ассоциация ученых (НАУ)». 2024. Том 1, № 101, стр.13-27.

μ SR-эксперименты по исследованию наноструктурного образца CuO и эндометаллофуллеренов C⁶⁰@Fe

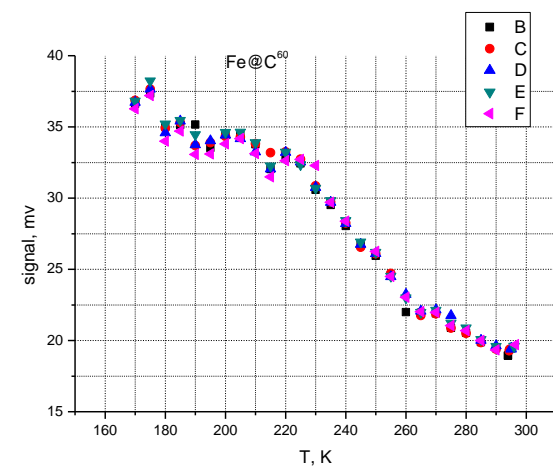
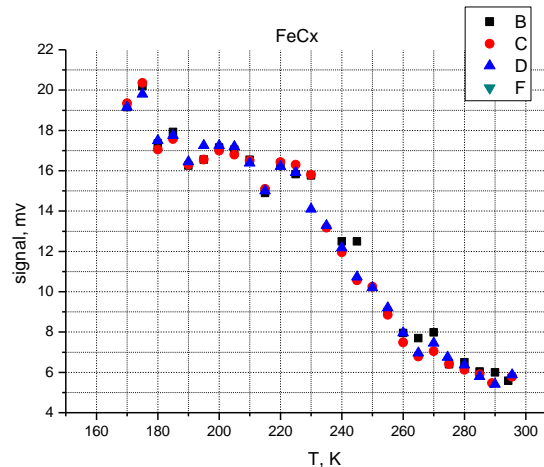
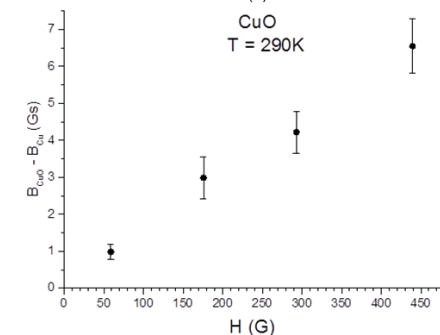
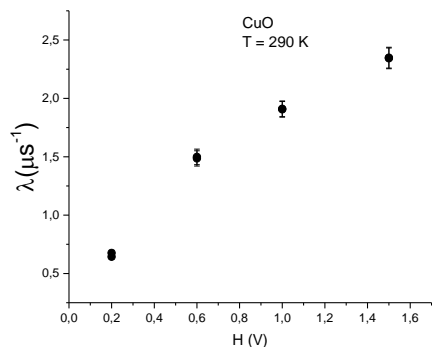
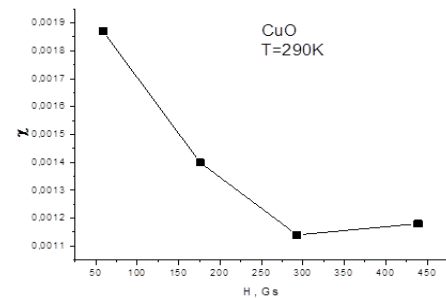


Исследования посвящены изучению магнитных свойств наноструктурных образцов оксида меди CuO и эндометаллофуллеренов C⁶⁰@Fe (в перспективе и с редко-земельными ионами).

Образец оксида меди CuO впервые был изготовлен по новой технологии путем электродугового испарения графитового электрода, содержащего медь.



К настоящему моменту есть результаты измерения магнитной восприимчивости прекурсора FeC^x, а также образца эндометаллофуллерена Fe@C⁶⁰ в диапазоне температур 170K – 300K в нулевом магнитном поле.



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 μ SR-измерения на ускорителе ПИЯФ.



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.

Ферригидрит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, существуют только в наноразмерном виде.

Ферригидрит характеризуется антиферромагнитным порядком с температурой Нееля ~ 350 К, но наличие дефектов в поверхностном слое приводит к появлению у антиферромагнитной наночастицы значительного нескомпенсированного магнитного момента ($100 - 300 \mu_B$).

Иными словами, ферригидрит – композиционный **наноматериал с антиферромагнитным ядром и ферро(ферри)магнитной оболочкой с постоянным магнитным моментом.**

μSR-исследование биоферригидрита будет весомым вкладом в комплексное изучение ферригидрита, проводимое методами Мёссбауэровской спектроскопии, магнитометрии, с помощью электронного просвечивающего микроскопа.

Работы по криогенному оборудованию



