



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



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

Воробьев С.И.

Совместно: Объединенный институт ядерных исследований (Дубна); «Horia Hulubei» National Institute of Physics and Engineering (Bucharest, Romania); «Politehnica» University of Bucharest (Bucharest, Romania)

Результаты исследований феррожидкости опубликованы:

Влияние магнитных наночастиц на поведение поляризованных положительных мюонов в феррожидкости на основе Fe_3O_4 в среде D_2O .

Препринт ПИЯФ–2745, Гатчина–2007, 27 стр.

Исследование свойств наноструктурированных магнитных систем на основе Fe_3O_4 μSR-методом.

Препринт ОИЯИ Р14-2008-89, Дубна, 2008, 9 стр.

Исследование свойств наноструктурированных магнитных систем на основе Fe_3O_4 μSR-методом.

Письма в ЖЭТФ, том 88, вып. 3, 2008, стр. 243-247. JETP Letters, 2008, Vol. 88, № 3, pp. 210 – 213.

Magnetic properties investigation of a ferrofluid with cobalt ferrite nanoparticles using polarized muons.

Journal of optoelectronics and advanced materials, 2015, Vol. 17, No. 7-8, July–August p. 1086-1091.

Исследование магнитных свойств феррожидкости с наночастицами $CoFe_2O_4$ с помощью μSR-метода.

Сборник «Основные результаты научной деятельности 2015». - Гатчина Ленинградской обл.: Издательство ФГБУ «ПИЯФ» НИЦ «Курчатовский институт», 2016. Стр. 52-53.

μSR INVESTIGATIONS AT THE PNPI.

В сборнике ОФВЭ «HEPD: Main scientific activity 2013–2018». pp. 308–314, Gatchina – 2019.

μSR-study of a 3% $CoFe_2O_4$ nanoparticle concentration ferrofluid.

Magnetochemistry, 2021, 7, 104.

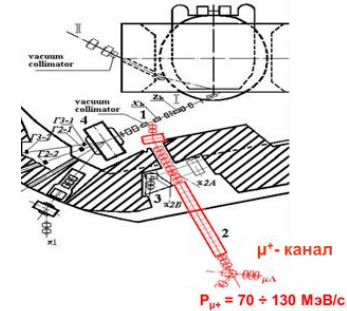
Исследование феррожидкости с 3%-ной концентрацией наночастиц $CoFe_2O_4$ с помощью поляризованных мюонов.

Препринт НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ–3049, Гатчина–2021, 14 стр.

Исследование феррожидкости с трехпроцентной концентрацией наночастиц $CoFe_2O_4$ с помощью поляризованных мюонов.

Сборник «Основные результаты научной деятельности 2021». - Гатчина Ленинградской обл.: Издательство НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, стр. 53, 2022.

Вторая премия на конкурсе научных работ 2021 года «Исследование магнитных свойств феррожидкости с помощью поляризованных мюонов»



μSR-эксперименты по изучению распределения магнитных однодоменных наночастиц CoFe_2O_4 в эластомерной матрице

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.

Современная область применения эластомеров это использование их магнитодеформационных, магнитодвижительных и магнитотемпературных свойств [*Magnetic Responsive Polymer Composite Materials / Thevenot J. et.al. // Chem. Soc. Rev. 2013. 42, № 17. P. 7099–7116*].

Возможность изменять упругость эластомеров с помощью магнитного поля привлекает внимание исследователей для разработки мягких актюаторов и позиционеров. Требуемая жесткость, эффект памяти формы, гибкость эластомера может быть обеспечена не только свойствами используемого полимера, но и частицами карбонильного железа, используемого при изготовлении эластомеров. Различие магнитных свойств эластомеров на основе магнитных частиц и магнитных свойств порошков тех же частиц указывает на взаимное влияние двух фаз композитного материала друг на друга. При создании анизотропных образцов важно учитывать концентрацию частиц. При малых концентрациях 5% некоторые частицы образуют слабые цепочкоподобные структуры, а другие произвольно распределены внутри матрицы. В образцах с концентрациями 10 и 15% частиц формируются хорошие анизотропные структуры.

Магнитные эластомеры, или магнитные полимеры, могут использоваться в биомедицинских областях: магнитно-резонансной томографии, разделении ДНК, доставки лекарств, кардиологии и нейрохирургии [*Ramanujan R.V. Magnetic particles for biomedical applications // Biomedical materials. 2009. P. 477–491*].

Очень большое внимание в применении эластомеров уделяется управляемой доставке лекарств [*Brazel C.S. Magneto thermally-responsive nanomaterials: combining magnetic nanostructures and thermally-sensitive polymers for triggered drug release. // Pharm. Res. 2009. 26, № 3. P. 644–656; Stimuli-responsive magnetic particles for biomedical applications / Medeiros S.F. et.al. // Int. J. Pharm. Elsevier B.V. 2011. 403, № 1-2. P. 139–161*].

Использование железных частиц или частиц магнетита в качестве наполнителя в эластомерах приводит к их нагреву в переменном магнитном поле, что хорошо для гипертермии. Восприимчивые полимерные эластомеры могут адаптироваться к условиям окружающей среды, контролировать транспорт ионов и молекул, изменять смачиваемость и адгезионные свойства, преобразовывать химические и биохимические сигналы в оптические, электрические, тепловые, механические, и наоборот [*Emerging applications of stimuli-responsive polymer materials / Stuart M. et.al. // Nat. Mater. Nature Publishing Group. 2010. 9, № 2. P. 101–113*].

Интересны исследования в области самоорганизующихся магнитных наночастиц, которые могут формировать в полимере одномерные, двумерные и трехмерные пространственные структуры под действием магнитных полей. Управление структурой композитного материала позволяет рассматривать его в качестве основы хранения или записи информации [*Magnetically-responsive self assembled composites / Dai Q., Nelson A // Chem. Soc. Rev. 2010. 39, № 11. P. 4057–4066*].

Область применения магнитных эластомеров очень широка. Однако до сих пор остаются открытыми вопросы физических механизмов формирования свойств этих материалов.

Распространенными являются публикации, в которых рассматриваются материалы с наполнителем из частиц железа и магнетита, однако работ, посвященных исследованию свойств эластомеров с другими типами частиц, очень мало.

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 в будущем могут найти практическое применение.

Для исследования μ SR-методом магнитных свойств магнито-реологических эластомеров были изготовлена 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 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4\text{Na}$ 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.

Исследованные образцы были синтезированы в Институте технической химии УО РАН. Предварительно проводилось двукратное сепарирование наночастиц по размерам на центрифуге «Biofuge 15R» в течении 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 CoFe_2O_4 .

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

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;

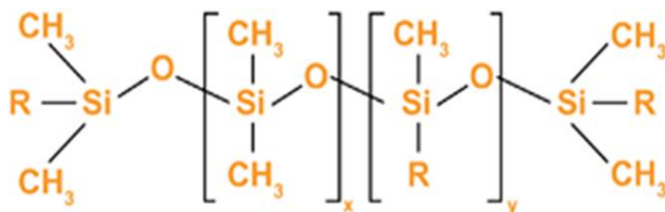
P₄ : $\Phi_1=15\%$ at H=0kA/m.

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



Фотография образца P0
(0% наночастиц CoFe_2O_4)



Фотография образца P4
(15% наночастиц CoFe_2O_4)

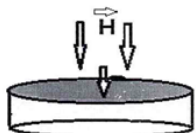


Рис. 1. Образцы эластомеров.

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.

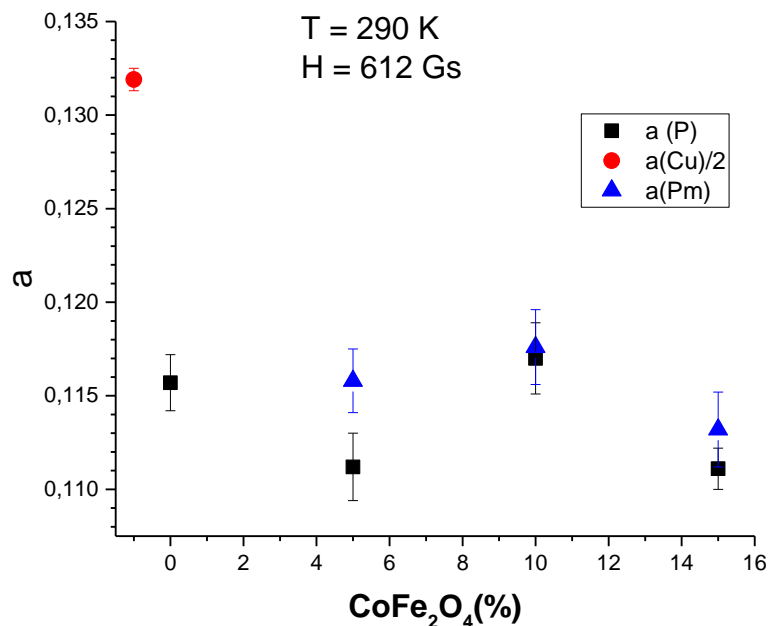


Рис. 1. Зависимость амплитуды прецессии спина мюона от величины концентрации CoFe_2O_4 .

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.

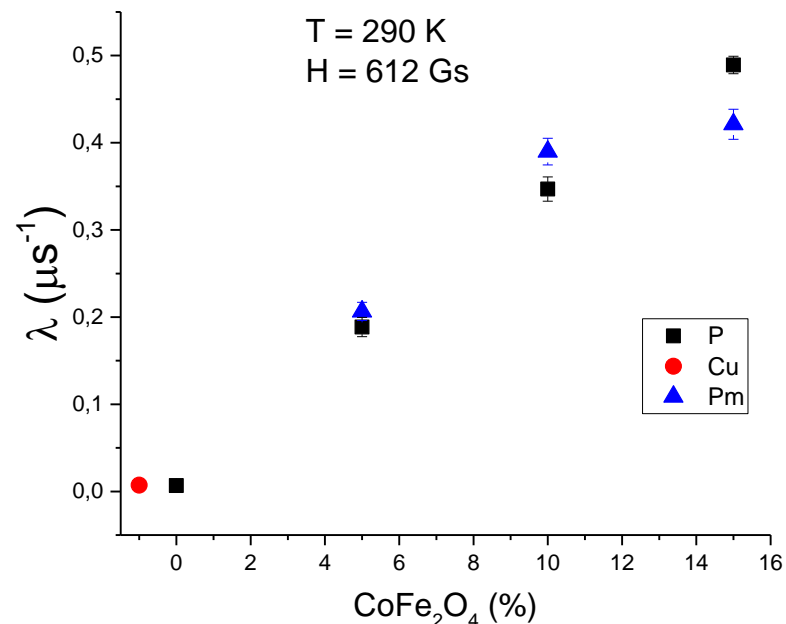


Рис. 2. Зависимость скорости релаксации поляризации мюона от концентрации наночастиц CoFe_2O_4 : чёрные квадраты – P образцы, синие треугольники – P_m образцы и красная точка – медный образец.

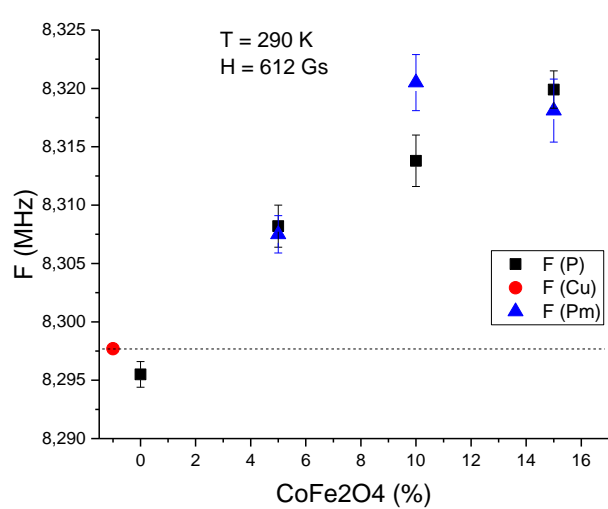


Рис. 3. Зависимость частоты прецессии спина мюона от концентрации наночастиц CoFe_2O_4 при температуре 290 K в магнитном поле $H = 612$ Гс: чёрные квадраты – P образцы, синие треугольнички – P_m образцы и красная точка – медный образец.

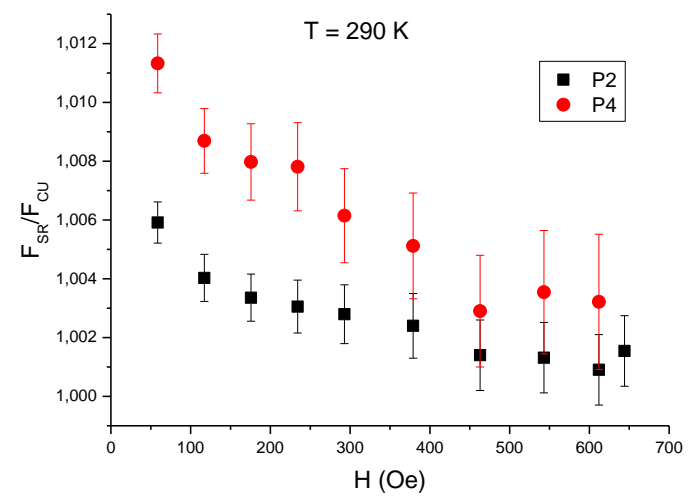


Рис. 4. Зависимость относительной частоты прецессии спина мюона от магнитного поля: чёрные квадраты – в образце эластомера P2 (5%), красные точки – в образце эластомера P4 (15%).

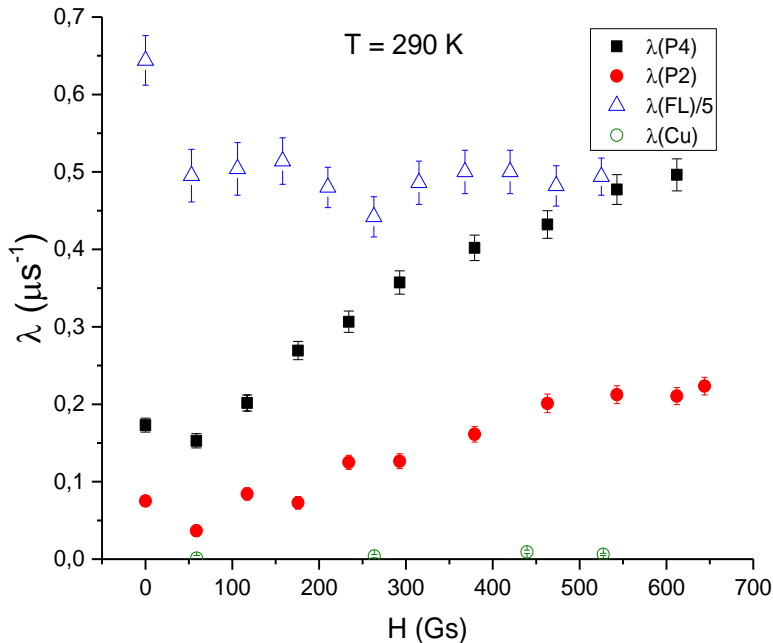
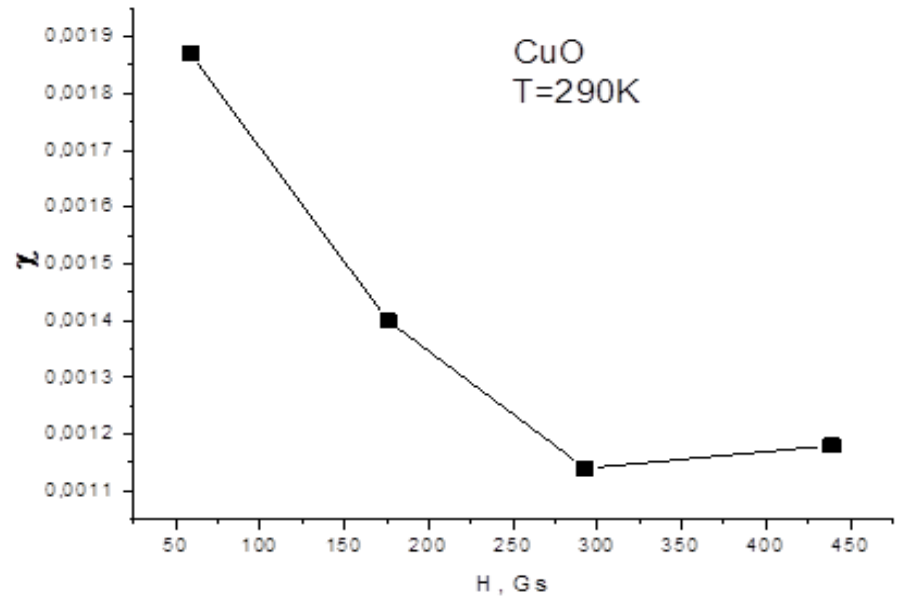
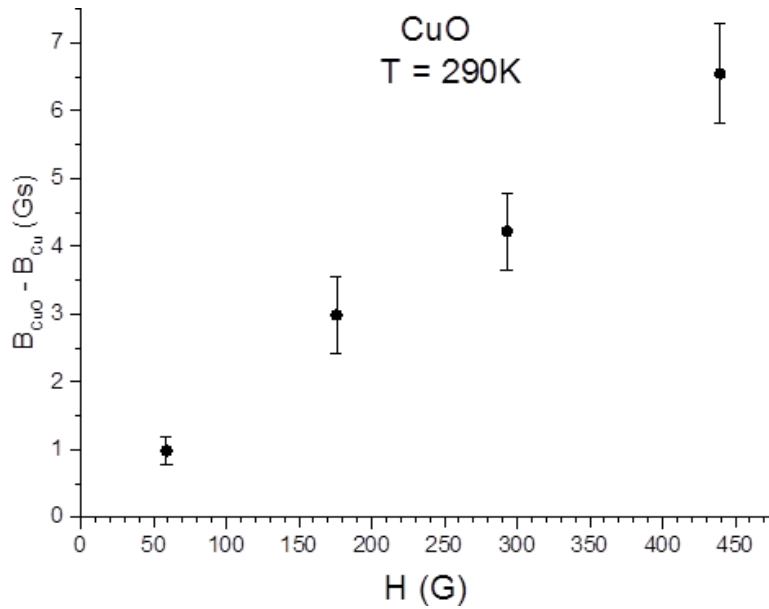


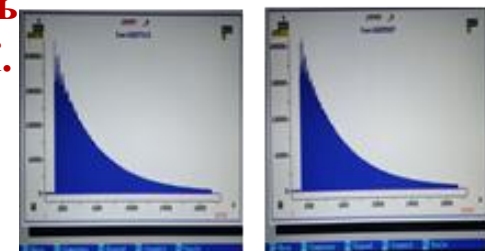
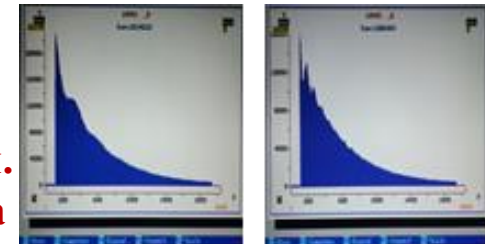
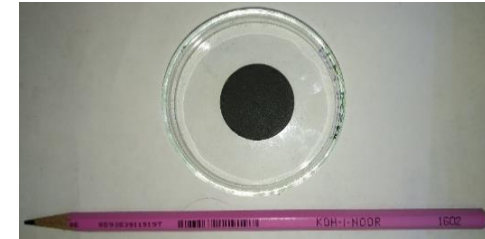
Рис. 5. Зависимость скорости деполяризации мюона от магнитного поля: квадраты – образец эластомера P4 (15%), красные точки – образец эластомера P2 (5%), синие светлые треугольнички (значение делённое на 5) – феррожидкость 3% CoFe_2O_4 , зелёные светлые точки – Cu.

Исследования будут продолжены.

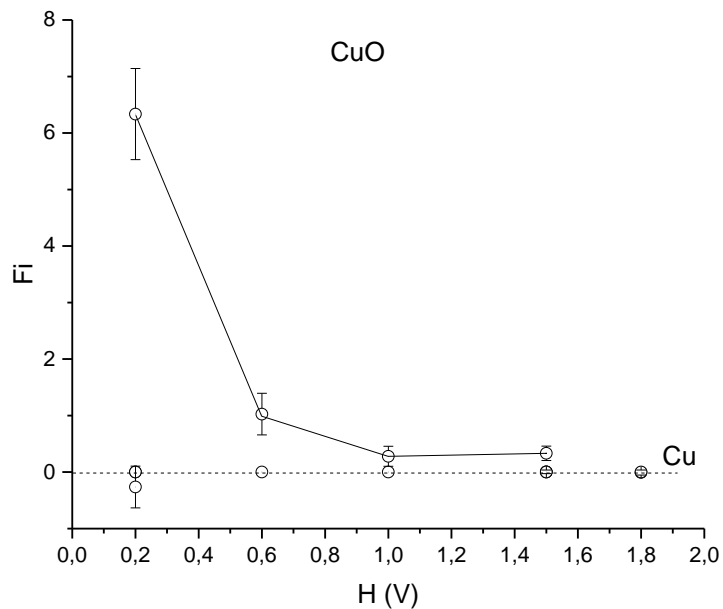
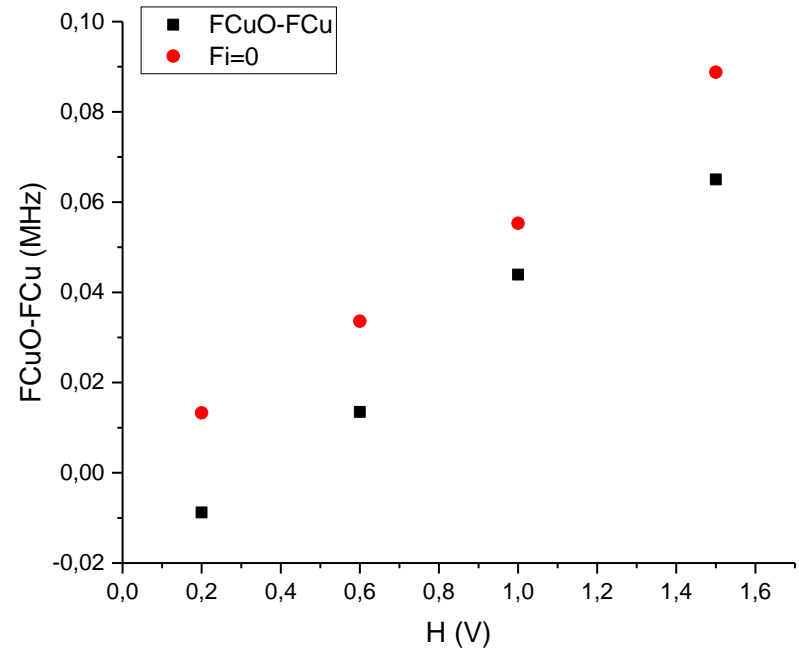
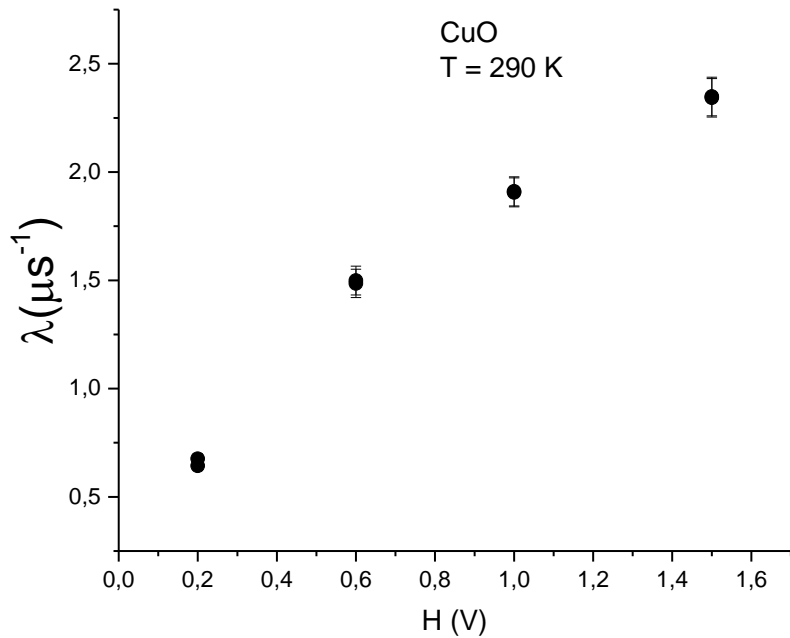
μSR-эксперименты по исследованию наноструктурного образца CuO



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 1 кГс при температурах 180-300 К.



Исследования будут продолжены.

Лобин В.С. - с 01.09.2022 аспирант ДИТИ НИЯУ МИФИ (Кафедра ядерных реакторов и материалов),
1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Тема: «Исследование магнитных свойств наноструктурированных материалов с помощью поляризованных мюонов».

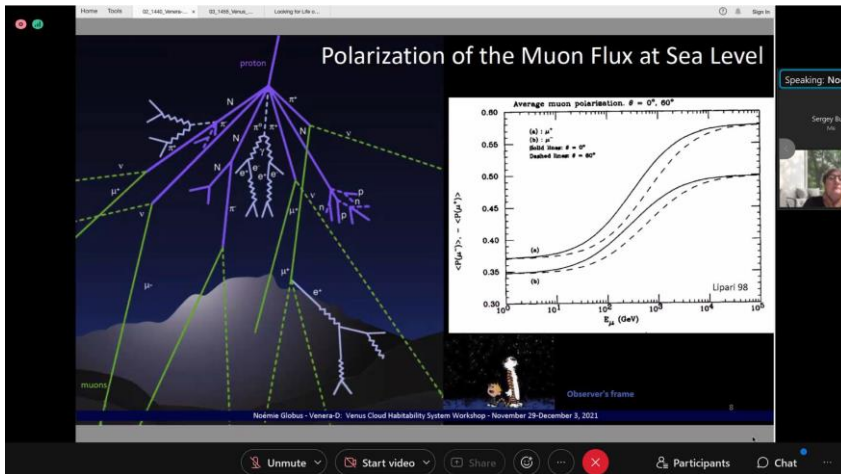
pDNA/lysate under muon irradiation – fev 2022, PNPI

Material

Four 0.5ml PCR tubes filled with diluted (Mo Bio grade water) lysate (pDNA 3721v34-86/10 - 2µl +18 TE/0.1 – total vol 20µl) each inside the small PE bag put inside a chamber with muon beam passed through:

Исследование ДНК образцов:

На импульсе мюонов 90 МэВ/с (E=33 МэВ) проводили облучение в трёх временных экспозициях, 5 мин, 50 мин и 4 часа 10 мин (контроль рядом) - различия в 10 и 50 раз от первой дозы.



1st PCR Trial – DNA under muons 90 МэВ/с (E=33 МэВ) at 15-18oC

AMPLICON – 700bp

Master mix – SSIBio/sterilized

Comments	Fev 11, 2022	
Cycling conditions	Number	
Cycles number	45	
Tube type	SSI / sterilized	BiometraTProfessional

BiometraTProfessional protocol/SibEnzyme-bul-45

1st melting – 94gradC – 3 min

1 st and further primer annealing – 53gradC – 30 sec	x 5
1 st and further DNA extension – 72gradC – 60 sec	
Further melting – 93gradC – 30 sec	
1 st and further primer annealing – 55gradC – 15 sec	x 40
1 st and further DNA extension – 72gradC – 40 sec	
Further melting – 92gradC – 20 sec	

Primer annealing – 55gradC – 15 sec

Last DNA extension – 72gradC – 5 min

10gradC – forever!

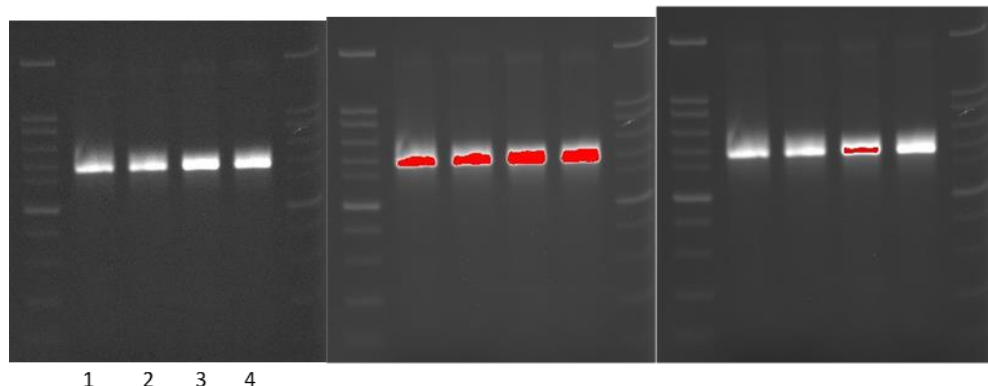
Biometra T Professional protocol/SibEnzyme-bul-45

PCR conditions	Type	Final conc.	Amount (μl)	Total (μl)
PCR vol.			20	[20x4] 80
Water	5' Mol Biol grade			64.2
10x Buffer/Mg ²⁺	Dia-M buffer B	1 x	2	8
dNTPs	Beagle 20 mM (5 mM each)	0.2 mM	0.2	0.8
Primer 1	Bul1b+Bul2b	-	0.27	1.08*
Polymerase	SibEnzyme (5u/μl)	1.0u	0.2	0.8
DNA target	3721v34-76/10 with TE[0.1]	-	1.0	4
				15.8

* - in fact 4.4!!! Mistake!

No	Invitrogen 100bp 1.0ul/0.125ug	Sample/min	μl in PCR	μl in gel (with no dye)	Comments
	MWMarker			1.0	
1-blue		K 3721v34-86/10	1.0	1.0	
2		5	1.0	1.0	
3		50	1.0	1.0	
4		250	1.0	1.0	
	MWMarker			1.0	

EtBromide with ChemiDoc MP Imaging System



CONCLUSION

No effect!!!

- No double-strand breaks in DNA
- No significant base modifications affecting base-pairing with PCR primers

No effect!!!

- No double-strand breaks in DNA
- No significant base modifications affecting base-pairing with PCR primers
- No mutations???

Возможно: облучение образца мюонами (с ранее выбранной временной экспозицией) в диапазоне импульсов (энергий):
 p=60 МэВ/с (E=16 МэВ), 70 МэВ/с (21 МэВ),
 75 МэВ/с (24 МэВ), 80 МэВ/с (27 МэВ),
 90 МэВ/с (33 МэВ), 100 МэВ/с (40 МэВ),
 110 МэВ/с (46 МэВ), 120 МэВ/с (53 МэВ) и
 130 МэВ/с (62 МэВ).

Лаборатория квантовой химии ОПР, Лаборатория мезонной физики ОФВЭ

Проект № 23-73-00038. Исследование локальных магнитных свойств примесей в кристаллах кремния на μ SR-установке Гатчинского протонного комплекса и разработка прецизионного метода численного моделирования таких примесей в ковалентных неполярных кристаллах.

Конкурс РФФИ 2023 года по мероприятию «Проведение исследований на базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными.

Настоящий проект направлен на разработку численного метода моделирования ковалентных кристаллов на примере кристаллов кремния. Разрабатываемый подход должен позволять теоретически описывать локальные свойства примесей в кристаллах кремния. В частности, позволять рассчитывать уровни энергии примесных атомов, химические сдвиги, электронную плотность вблизи дефектов. Должна быть возможность исследовать изменение таких свойств в присутствии внешних электрических и магнитных полей. Особый интерес представляет изучение спиновых свойств дефектных атомов со спином ядра $1/2$. Также особенностью метода является возможность описывать взаимодействие примесных атомов.

Тестирование нового метода будет проходить на μ SR-установке Гатчинского протонного комплекса, где уже разработан экспериментальный подход для изучения намагниченности в твёрдых телах. В рамках настоящего проекта необходимо будет разработать экспериментальный подход для **изучения намагниченности в кристаллах кремния с примесями в присутствии внешних электрических и магнитных полей.**

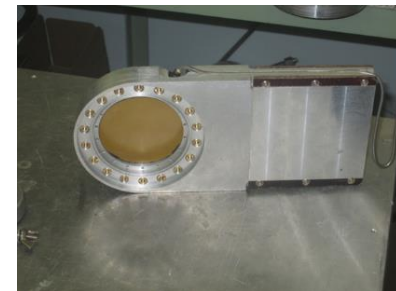
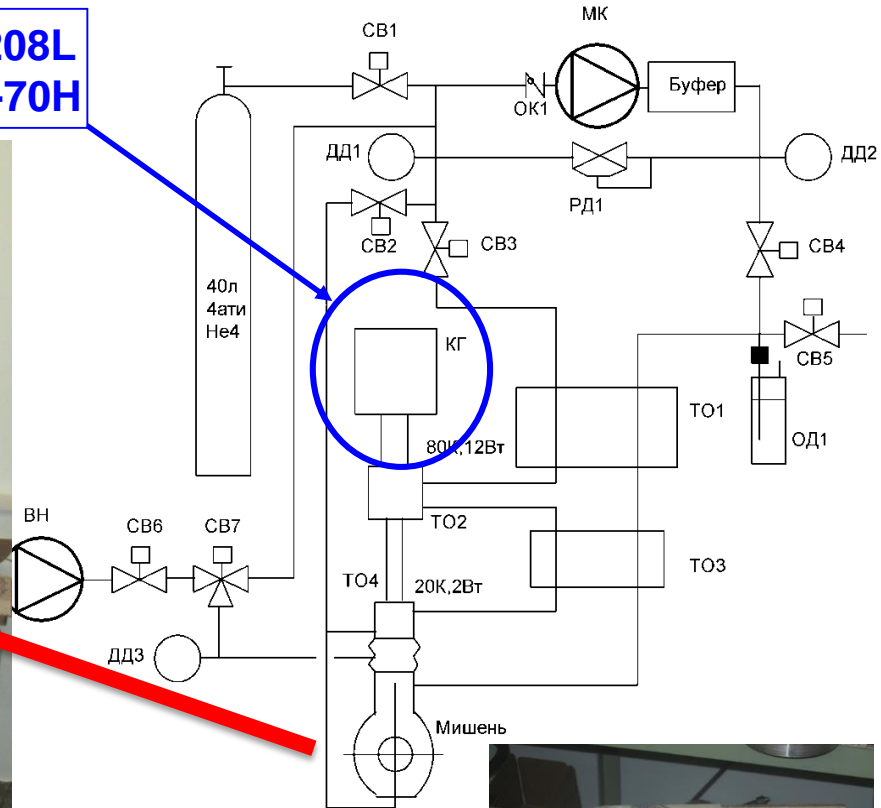
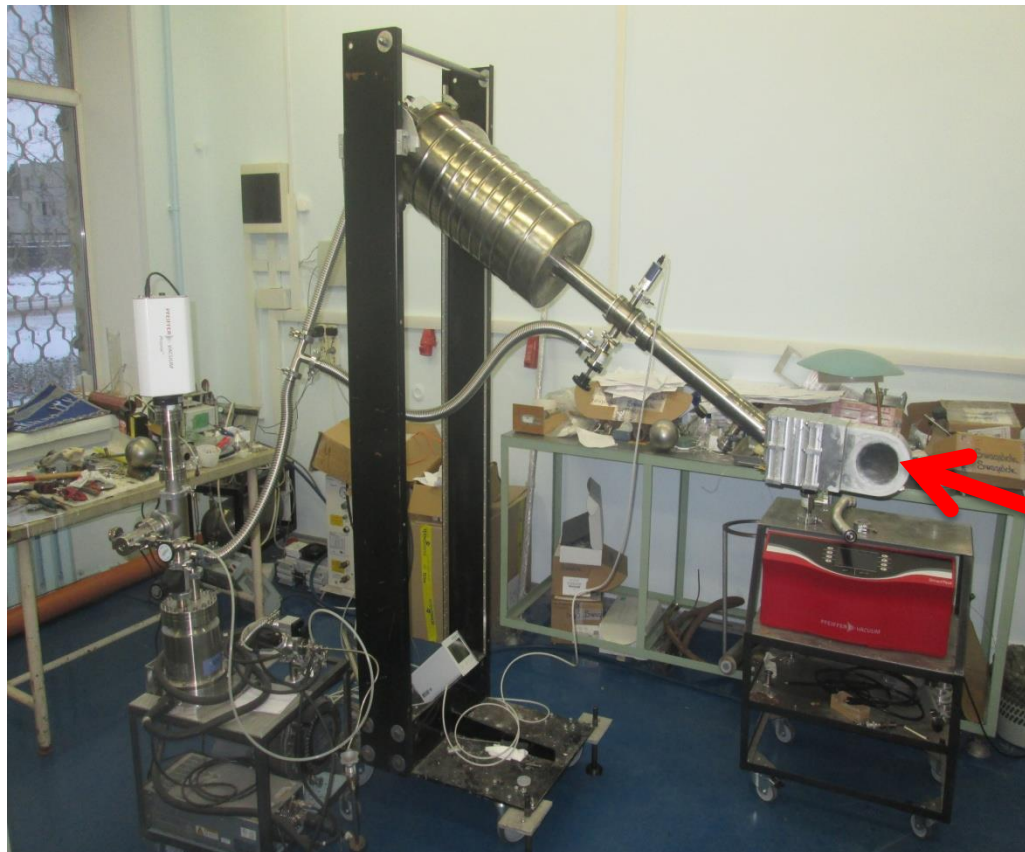
Модернизация установки

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





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

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
1.	Турбомолекулярный насос Agilent Turbo-V 81-T, Agilent Technologies, Германия. <i>В заявке на 2022 – 262600 руб.</i>	Ограничена, отечественных аналогов нет, возможна замена на другого производителя: - Вакуумный Насос с Контроллером FF-100/150E, DN100ISO-K Производитель: KYKY Technology Development LTD (8487,63 USD - март) - Вакуумный Насос с Контроллером FF-63/80E DN63 ISO-K Производитель: KYKY Technology Development LTD (8094,69 USD- март)
2.	Чиллер для охлаждения воды OMI CHA 11, STD OMI, Италия. <i>В заявке на 2022 – 211663 руб.</i>	Ограничена, отечественных аналогов нет, возможна замена на другого производителя: Чиллер RSA-U5, 12600 кКал/час (Китай) – > 400 тыс. руб. - март

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, систем водоснабжения и систем контроля мюонного канала

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.

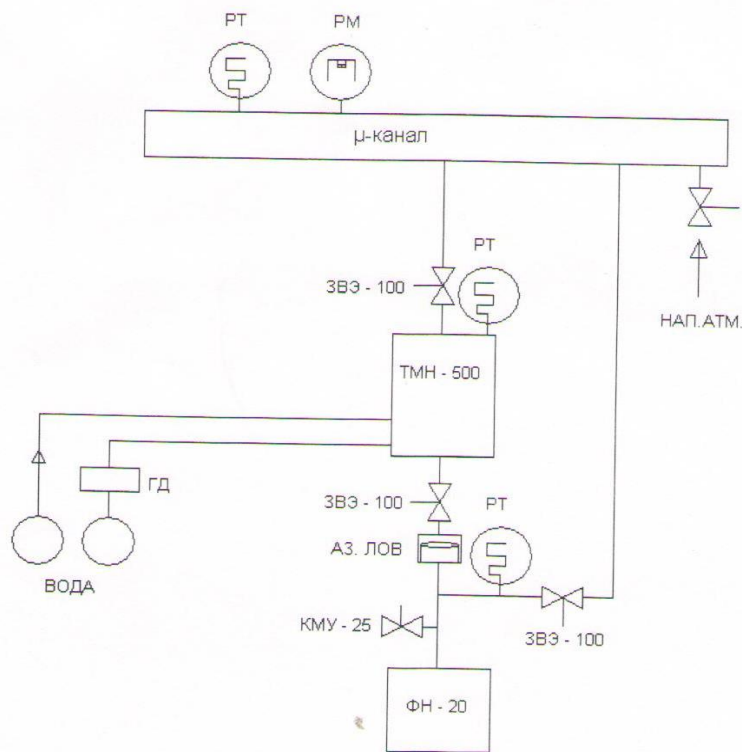


Рис. Вакуумное оборудование μ -канала.

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: электромагнитный клапан КМУ-25, вакуумный затвор ЗВЭ-100, вакуумный преобразователь манометрический, вакуумный термодатчик, вакуумметр ВМБ-14, прибор с блокировкой по вакууму ВТ-3, стойка контроля, управления и сигнализации, вакуумные шланги, зажимы и уплотнения, азотная ловушка. В систему обеспечения ТМН-500 входят трубы водяного охлаждения и реле протока (ГД).

Таблица. Денежные средства необходимые на модернизацию вакуумной части мюонного канала.

Наименование	Кол-во, шт.	Итого на 2017 год!!!, руб.
Насос ТМН-500.	1	410 000
Насос АВЗ-20.	1	110 000
Вакуумметр цифровой.	1	20 000
Вакуумметр стрелочный.	1	2 000
Преобразователь (лампа ПМТ-2).	3	5 000
Преобразователь (лампа ПМИ-2).	3	5 000
Преобразователь (лампа ПМТ-4).	3	30 000
Вакуумные шланги.		6 000
Клапан эл. магнитный КМУ-25.	2	50 000
Затвор вакуумный ЗВЭ-100.	3	150 000
Вакуумметр теплоэлектрический блокировочный 13 ВТЗ-003.	3	40 000
Азотная ловушка.	1	20 000
Стойка контроля, управления и сигнализации.	1	50 000
Изготовление плат АСУ токами в магнитных элементах.	20	600 000
Итого:		≈ 1 498 000 ???





