

Форма № 21

УТВЕРЖДАЮ

Вице-директор ОИЯИ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 г.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НА ПРОДЛЕНИЕ ТЕМЫ  
В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ НА 2022 –2023 гг.**

**Шифр темы**

04-5-1131-2017/2021

**Лаборатория** ядерных реакций \_\_\_\_\_

**Отдел**

Центр прикладной физики,

Сектор № 8 ФЛЯР, НТОУ ФЛЯР

**Направление:** Физика конденсированных сред

**Наименование темы:** Радиационно-физические, радиохимические и нанотехнологические исследования на пучках тяжелых ионов

**Руководитель темы:** С.Н. Дмитриев, П.Ю. Апель

**Научная программа**

**Краткая аннотация**

Результаты, полученные в рамках темы 04-5-1131-2017/2021 в прошедший 5-летний период, показали востребованность и актуальность результатов исследований, направленных на изменение свойств материалов при бомбардировке ускоренными многозарядными ионами и на создание новых функциональных структур при помощи методов, сочетающих в себе облучение ионными пучками и иные физико-химические воздействия. Ведущая роль сохраняется за фундаментальными исследованиями, без которых генерация и развитие новых практических приложений невозможны. Был достигнут новый уровень исследований в области радиационной физики твердого тела, характеризующийся сочетанием эксперимента с теорией и моделированием процесса трекообразования в неорганических матрицах методами молекулярной динамики. Принципиально новые результаты были получены по тематике модификации полимерных материалов на пучках ускоренных тяжелых ионов. В частности, было показано, что ионно-трековая технология позволяет получать не только микро- и ультрафильтрационные мембраны, но и может быть применена для получения мембран для более тонких сепарационных процессов, например, для разделения ионов. Подходы ионно-трековой технологии были применены в комбинации с новыми тонкопленочными, многослойными технологиями и новыми перспективными материалами (графен, плазмонные материалы). Основываясь на полученных

результатах, представляется целесообразным продолжить исследования в рамках данной темы на период, который будет синхронизирован с 7-летним планом развития ОИЯИ, то есть по 2023 год.

Будут сохранены акценты на модификацию материалов в нанометровом диапазоне, на исследование эффектов, производимых тяжелыми ионами в веществе, с целью выяснения фундаментальных механизмов и разработки нанотехнологических приложений ионных пучков. Они будут включать также разработку новых типов трековых мембран и функциональных материалов на основе обработанных пучками тяжелых ионов полимеров, применимых в различных областях техники и медицины, развитие ядерно-физических методов анализа как для исследования новых синтезируемых материалов, так и для контроля окружающей среды; модернизацию ускорительного комплекса ЛЯР для прикладных задач.

В области радиоаналитических исследований рентгенофлуоресцентный, гамма-активационный, нейтроноактивационный методы, гамма- и альфа-спектрометрия будут использоваться для определения элементного состава как природных образцов, образцов новых синтезированных наноструктурированных материалов. Эти работы также включают разработку неразрушающих методов контроля циклотронных мишеней и тестирование перспективных мишеных материалов на термо- и радиационную стойкость в жестких условиях ядернофизических экспериментов, проводимых в ФЛЯР.

Будет использована широкая экспериментальная база лабораторного комплекса ЛЯР, которая в период 2017-2021 была существенно дополнена высококлассным оборудованием (в частности, просвечивающим электронным микроскопом Talos F200i) и служит для получения разнообразной научной информации, в первую очередь в исследованиях структур в нанометровом диапазоне. Дальнейший прогресс прикладных работ требует нового подхода к стратегии развития ускорительной базы. С технической, организационной и экономической точки зрения оптимальным решением является не эксплуатация отдельных каналов на ускорителях ДЦ280, У400 и У400М, а создание специализированного ускорителя. Новый ускоритель, циклотрон ДЦ140, будет существенно мощнее используемого в настоящее время ИЦ-100 и обеспечит параметры пучков, необходимые для радиационного материаловедения, производства трековых мембран, тестирования микроэлектронных схем, и иных потенциальных применений. План на последующие два года предполагает создание трех специализированных ионопроводов на циклотроне ДЦ140, которые будут удовлетворять требованиям всех направлений прикладных исследований в ФЛЯР.

В 2022-2023 гг. будет продолжено развитие и расширение парка аналитического оборудования, что позволит проводить исследования структуры материалов в нанометровом диапазоне на более высоком уровне. Будут исследованы возможности создания новых конкретных устройств и материалов, функционирование которых основано на особых свойствах наноструктурированных тел. Это ГКР-сенсоры на основе трековой мембраны, покрытой наночастицами благородных металлов; композитные трековые мембраны с нановолокнами из полимеров с избирательными адсорбционными свойствами; мембраны для блоттинга; мембраны со сверхгидрофобной поверхностью для мембранной дистилляции. Для решения этих задач методы ионно-трековой технологии будут применены в сочетании с технологиями нанесения тонких пленок, технологией электроспиннинга для получения нановолокон, технологией синтеза металлических наночастиц и другими современными подходами. Будут продолжены исследования уникальных свойств симметричных и асимметричных «трековых» нанопор, включающие электрокинетические эффекты, осмотические эффекты и ионную селективность в растворах электролитов. Планируется исследовать процесс образования вакансий в 2D-материалах при облучении тяжелыми ионами с целью выяснения возможности изготовления мембран для обессоливания и сепарации молекул, обладающих беспрецедентной производительностью. Области конечного применения будут ориентированы на стратегические цели, как-то энергетика, безопасность, экология и здоровье.

**Этапы работы (завершение в 2022 г.)**

1. Определение пороговых значений удельных ионизационных потерь энергии тяжелых ионов для формирования латентных треков в наночастицах  $Y_4Al_2O_9$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Si_3N_4$ .
2. Создание установки для однородного легирования материалов ионами гелия и водорода с энергиями в 1-4 МэВ.
3. Определение условий формирования нанотверстий и наноканалов в оксиде графена при воздействии тяжелых ионов высоких энергий.
4. Экспериментальное исследование и теоретическое описание электрокинетических и осмотических свойств трековых мембран с порами радиусом 10-20 нм.
5. Определение ионоселективных свойств мембран, получаемых из облученных ионами полимерных пленок путем мягкого фотолиза и жидкостной экстракции продуктов радиолиза и фотолиза из треков.
6. Разработка гибридной мембраны на основе трековой мембраны с титановым покрытием со слоем из нановолокон, полученных электроструйным методом из хитозана, коллагена, и гиалуроновой кислоты.
7. Разработка методики изготовления трековых мембран из биоразлагаемого полимера полилактида.
8. Исследование процесса мембранной дистилляции для опреснения морской воды с помощью композиционных трековых мембран с тонким гидрофобным слоем.
9. Изучение элементного состава модифицированных трековых мембран и их способности сорбировать Cs неразрушающим методом XRFA.

#### **Ожидаемый результат по завершении темы**

1. Сравнительный анализ параметров латентных треков, вызываемых быстрыми тяжелыми ионами в наночастицах и объемных поли- и монокристаллических оксидах и нитридах, методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения и молекулярной динамики.
2. Накопление данных о процессах образования и эволюции газовой пористости в ферритных и аустенитных сталях, имплантированных ионами МэВ-ных энергий и облученных тяжелыми ионами с энергиями осколков деления.
3. Результаты исследования процессов наноструктурирования оксида графена (формирования нанотверстий и наноканалов) и изменения его электрофизических свойств при облучении быстрыми тяжелыми ионами.
4. Разработка новых поколений функциональных трековых мембран и основанных на них функциональных материалов для оптических, медицинских, биохимических и сенсорных применений.
5. Разработка методов формирования на поверхности трековых мембран гидрофобных и супергидрофобных полимерных покрытий из активной газовой фазы. Детальное исследование их морфологии и оценка применимости для мембранной дистилляции.
6. Разработка новых неразрушающих методик определения качественного и количественного состава циклотронных мишеней и тестирование перспективных мишенных материалов на термо- и радиационную стойкость в жестких условиях ядернофизических экспериментов, проводимых в ФЛЯР.
7. Создание трех специализированных ионопроводов на циклотроне ДЦ140 для прикладных исследований.

#### **Участвующие страны**

Беларусь, Болгария, Венгрия, Вьетнам, Германия, Испания, Казахстан, Китай, Молдова, Монголия, Польша, Россия, Румыния, Сербия, Словакия, США, Чехия, ЮАР.

## Основные этапы темы:

Этап темы или эксперимент	Руководители	Статус проекта или эксперимента
Лаборатория или другие подразделения ОИЯИ	Основные исполнители	
<b>1. Исследование радиационной повреждаемости твердого тела и образования наноструктур</b>	<b>В.А. Скуратов</b> <b>П.Ю. Апель</b>	Набор данных
ЛЯР	В.А. Алтынов, И.В. Блонская, И.И. Виноградов, О.М. Иванов, Н.С. Кирилкин, Е.А. Корнеева, Л.И. Кравец, О.В. Криставчук, Н.Е. Лизунов, А.Н. Нечаев, О.Л. Орелович, А. Олейничак, К. Олейничак, Р.А. Рымжанов, В.К. Семина, Г.В. Серпионов, А.С. Сохацкий, В.В. Ширкова, Д.В. Щеголев, А. Руссо, Ю. Ямаучи	
ЛИТ	В.В. Трофимов	
ЛНФ ЛРБ	А.И. Куклин, М.В. Фронтасьева, И.А. Бобриков И.В. Кошлань	
<b>2. Получение ультрачистых изотопов</b>	<b>Н.В. Аксенов</b>	Изготовление
ЛЯР	А.Ю. Бодров, Г.А. Божиков, И. Чупраков, Н.С. Густова, А.Ш. Мадумаров, С.В. Митрофанов, А.В. Сабельников	
<b>3. Радиоаналитические исследования</b>	<b>М.В. Густова</b>	Набор данных
ЛЯР	Д. Абдусамадзода, Н.С. Густова, С.П. Каплина, Т.Н. Сабельникова, М.Г. Воронюк	
<b>4. Проект специализированных ионных каналов на ДЦ-140</b>	<b>С.В. Митрофанов</b>	Изготовление
ЛЯР	С.Л. Богомолов, В.А. Веревошкин, Б.Н. Гикал, Г.Н. Иванов, И.А. Иваненко, И.В. Калагин, Н.Ю. Казаринов, В.А. Костырев, Н.Ф. Осипов, С.В. Пащенко, Н.Н. Пчелкин, В.А. Семин, О.А. Чернышев	
ЛФВЭ	А.А. Фатеев, 2 чел.	

## Сотрудничество по теме:

Страна или международная организация	Город	Институт или лаборатория	Участники	Статус
Беларусь	Минск	БГУ	Н.М. Казючиц + 1 чел. В.В. Углов + 3 чел. М.С. Тиванов + 4 чел.	Совместные работы Обмен визитами
	Гомель	ГГУ	А.В. Рогачев + 4 чел. С.А. Хохомов + 4 чел.	Совместные работы Обмен визитами
Болгария	Пловдив	РУ	С. Маринова	Совместные работы
Вьетнам	Ханой	ИОР VAST	Тип Тран Дук + 3 чел.	Совместные работы
Казахстан	Нур-Султан	АФ РГП ИЯФ	М.В. Здоровец + 4 чел.	Совместные работы



		ЕНУ	А.Т. Акилбеков + 4 чел.	Совместные работы
		НУ	А.В. Тихонов Ж. Утегулов + 3 чел.	Совместные работы
	Алма-Ата	ИЯФ	С.Б. Кислицын + 3 чел. Б.Н. Мукашев + 8 чел.	Совместные работы
Молдова	Кишинев	МолдГУ	И. Куляк	Совместные работы
Монголия	Улан-Батор	CGL	А. Ариунбат	Совместные работы
		NRC NUM	Д. Болортуяа	Совместные работы
Польша	Варшава	INCT	Б. Сартовска В. Староста + 3 чел. Д. Хмелевска-Сметанко + 2 чел.	Совместные работы
		WUT	Р. Вишневский + 2 чел.	Совместные работы
	Люблин	UMCS	М. Будзински + 3 чел.	Совместные работы
	Торунь	UMK	Е. Лукашевич В. Куявский	Совместные работы
Россия	Москва	ФНИЦ КиФ РАН	А.Б. Васильев + 2 чел.	Совместные работы
		ИОФ РАН	С.В. Гарн Г.П. Кузьмин Г.Н. Михайлова	Совместные работы
		ИСПМ РАН	А.Б. Гильман	Совместные работы
		МАИ	В.М. Елинсон + 3 чел. В.В. Слепцов	Совместные работы
		МИЭМ	Г.Г. Бондаренко + 3 чел.	Совместные работы
		НИИВС	В.В. Зверьев + 2 чел.	Совместные работы
		НИИЯФ МГУ	В.И. Шведунов	Совместные работы
		НМ ИЦ РК МЗ РФ	И.Р. Гильмутдинова + 3 чел.	Совместные работы
		ФИАН	А.В. Митрофанов В.Я. Никулин	Совместные работы
	Владимир	Владисарт	Н.Н. Осипов	Совместные работы
	Дубна	Трепор Технолоджи	А.С. Горшков	Совместные работы
	Калининград	БФУ им. И.Канта	В.В. Савин + 2 чел.	Совместные работы
	Краснодар	КубГУ	В.В. Никоненко + 3 чел.	Совместные работы
	Новосибирск	ИФП СО РАН	И.В. Антонова + 2 чел.	Совместные работы
	Обнинск	РЕАТРЕК-Фильтр	А.Н. Соснин	Совместные работы

	С.-Петербург	ФТИ им. А.Ф.Иоффе	Е.В. Калинина + 2 чел.	Совместные работы
	Черноголовка	ИФТТ РАН	И.В. Кукушкин + 3 чел.	Совместные работы
		ФИНЭПХФ РАН	В.И. Козловский	Совместные работы
	Саратов	СГМУ	Т.В. Рязанцева	Совместные работы
Румыния	Бухарест	CSSNT-UPB	М. Енкулеску	Совместные работы
		IFIN-HH	А.К. Драголич	Совместные работы
		UPB	М. Еначеску	Совместные работы
	Бая-Маре	TUCN-NUCBM	Д. Раколта	Совместные работы
	Мэгуреле	INFLPR	Г. Динеску	Совместные работы
Словакия	Братислава	IEE SAS	И. Вавра	Совместные работы
		PF SK	Р. Вайссабель	Совместные работы
Чехия	Прага	CU	Я. Чижек	Совместные работы
	Брно	BUT	Ш. Форал	Совместные работы
	Оломоуц	UP	И. Пичусек	Совместные работы
	Ржеж	NPI CAS	И. Вацек В. Гнатович + 2 чел.	Совместные работы
Венгрия	Будапешт	GetGiroKft	З. Ковач	Совместные работы
Германия	Дармштадт	GSI	К. Траутманн + 1 чел	Совместные работы
Сербия	Белград	INS "VINCA"	З. Лаушевич С. Петрович	Совместные работы
ЮАР	Претория	UP	Т. Хлатшвайо	Совместные работы
	Беллвилл	UWC	Л. Петрик К. Адемола	Совместные работы
	Порт-Элизабет	NMU	Я. Ниитлинг З. Ченту	Совместные работы
	Стелленбос	SU	А. Россю	Совместные работы
Испания	Валенсия	UV	П. Рамирес	Совместные работы
	Barcelona	ICREA Polytechnic University of Catalonia	А. Яроцук	Совместные работы
Китай	Пекин	PKU	Юганг Ванг	Совместные работы
США	Стэнфорд	SU	Р. Ивинг	Совместные работы

Сроки выполнения работы январь 2022-декабрь 2023 г.

Полная сметная стоимость темы: **1657.1** тыс долларов.

NN	Наименование статей бюджета	2022	2023
1	Заработная плата(ст.1 - ст.3)*	142.0	142.0
2	МНТС (ст.4)	50.0	50.0
3	Материалы,оборудование (ст.5+6+9+10+18+19)	500.0	500.0
4	Электроэнергия/вода (ст.7+ст.8)		
5	Оперативные расходы (ст.11 - ст.17)**	74.7	82.2
6	Административно-хозяйственные расходы	55.8	60.4
	<b>ИТОГО:</b>	<b>822.5</b>	<b>834.6</b>

Другие источники финансирования:

1. Гранты полномочных представителей стран-участниц и программы сотрудничества со странами участницами
2. Соглашение ЮАР-ОИЯИ
3. Внебюджетные средства ЛЯР – 500 тыс. долл. в год

**СОГЛАСОВАНО**

Главный ученый секретарь ОИЯИ  
ОИЯИ

“ “ \_\_\_\_\_ 2021 г.

Начальник планово-  
финансового отдела

“ “ \_\_\_\_\_ 2021 г.

С.н.с. научно-организационного  
отдела

Начальник научно-организационного  
Отдела

Директор лаборатории

“ “ \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь  
лаборатории

Экономист лаборатории

Руководитель темы

