

## **Исследования по физике релятивистских тяжелых и легких ионов на ускорительных комплексах Нуклotron-М/NICA ОИЯИ и SPS ЦЕРН**

**Руководитель темы:** Малахов А.И.

**Заместитель:** Афанасьев С.В.

### **Участвующие страны и международные организации:**

Армения, Болгария, Германия, Индия, Китай, Монголия, Польша, Россия, Румыния, Словакия, США, Узбекистан, ЦЕРН, Чехия, Швейцария, Япония.

### **Изучаемая проблема и основная цель исследований:**

Исследование новых явлений во множественном рождении частиц, связанных с проявлением кварковых и глюонных степеней свободы, при взаимодействии релятивистских ядер. Изучение нуклонных и ядерных взаимодействий на ускорительном комплексе ЛФВЭ, ЦЕРН, БНЛ. Энергетическое сканирование взаимодействий ядер при энергиях 20-158 Гэв на нуклон и изучение их зависимости от атомного номера ядер и энергии с целью поиска критической точки на фазовой диаграмме ядерной материи на установке NA61/SHINE(SPS, ЦЕРН). Исследования рождения адронов в адрон-ядерных взаимодействиях. Использование полученных данных для прецизионного вычисления спектров и потоков нейтрино в ускорительных экспериментах по изучению нейтринных осцилляций. Исследование нуклонной кластеризации и вклада нестабильных ядерно-молекулярных состояний в диссоциации легких стабильных и радиоактивных изотопов, а также свойств разреженной барионной материи в диссоциации тяжелых ядер. Экспериментальное и теоретическое исследование глубокоподпороговых, кумулятивных процессов, образования адронов и антиматерии в переходной области энергий. Исследования поведения элементарных частиц, нуклонных резонансов и нуклонных флуктуаций в ядерном веществе на установке "СКАН" на пучках Нуклotronа. Проработка предложений экспериментов на ускорительном комплексе ЛФВЭ на выведенных пучках Нуклotronа и коллайдере NICA. Изучение структуры короткодействующих нуклон-нуклонных корреляций и кластерной структуры ядер на пучках ионов, поляризованных протонов и дейtronов на внутренней мишени Нуклotronа в рамках проектов SCAN-3. Исследование процессов в области больших рт ( $\text{рт} \geq 1 \text{ GeV/c}$ ) в предкумулятивной и кумулятивной кинематических областях на установках СПИН и ФОДС.

### **Ожидаемые результаты по завершении этапов темы или проектов:**

1. Исследование новых явлений во множественном рождении частиц, связанных с проявлением кварковых и глюонных степеней свободы.
2. Подготовка и проведение экспериментов на внутренних и выведенных пучках Нуклotronа.
3. Анализ данных эксперимента NA61/SHINE (SPS, ЦЕРН). Исследования рождения адронов в адрон-ядерных взаимодействиях. Использование полученных данных для прецизионного вычисления спектров и потоков нейтрино в ускорительных экспериментах по изучению нейтринных осцилляций. Модернизация TOF-системы.
4. Анализ экспериментальных данных о процессе множественной эмиссии фрагментов промежуточной массы на пучках релятивистских легких ионов с помощью  $4\pi$ -установки ФАЗА-3 для регистрации ядерных фрагментов. Проведение анализа данных для установления механизма мультифрагментации и получения новой информации об ядерных фазовых переходах "жидкость-туман" и "жидкость-газ". Исследование свойств горячих ядер, образующихся в соударениях легких релятивистских ионов с тяжелыми мишенями. Создание детекторной системы для регистрации делящихся гиперядер.
5. Проверка следствий принципов автомодельности и ослабления корреляций в процессах множественного образования частиц.
6. Модернизация установки "СКАН". Анализ экспериментальных данных по исследованию поведения нуклонных резонансов и нуклонных флуктуаций в ядрах, поиску и изучению свойств связанного состояния  $\eta$ -мезона в ядерной материи, исследование парных  $pr$  и  $pp$  корреляций. Модернизация Станции внутренних мишеней Нуклotronа.

7. Поиск и изучение состояния Хойла и более сложных состояний ядерно-молекулярного в диссоциации легких ядер. Исследование изотопического состава фрагментации тяжелых ядер. Внедрение автоматизированных микроскопов, а также совершенствование технологии ЯЭ.
8. Модернизация установки Маруся для проведения экспериментальных исследований с выведенными пучками Нуклotronа. Исследование А-зависимостей редких подпороговых и кумулятивных процессов образования пионов, каонов и антипротонов в зависимости от типа и энергии налетающих ядер, импульса и угла регистрируемых частиц. Проведение корреляционных экспериментов с регистрацией групп частиц в конечном состоянии, одна из которых кумулятивная.
9. Сбор, обработка и оцифровка фильмовой информации, полученной при помощи пузырьковых камер и в электронных экспериментах с фиксированными мишенями в условиях регистрации множественного рождения частиц в диапазоне энергий 1-300 ГэВ.
10. Использование тяжелых и легких ионов для прикладных исследований.
11. Анализ экспериментальных данных, полученных в эксперименте PHENIX.
12. Подготовка проекта по изучению односпиновых асимметрий на ускорительном комплексе ЛФВЭ.
13. Обработка экспериментальных данных с сеансов 5-9 установки PHENIX. Участие в выработке программы на e-RHIC.
14. Набор новых экспериментальных данных в рA- и AA-взаимодействиях в области больших  $p_T$  ( $p_T \geq 1$  GeV/c) на установках СПИН и ФОДС, обработка данных и публикация результатов.

#### **Ожидаемые результаты по этапам темы или проектам в текущем году:**

1. Продолжение экспериментов на внутренней мишени и на выведенном пучке Нуклотрона. Развитие программ моделирования и обработки экспериментальных данных.
2. Обработка и анализ экспериментальных данных, полученных на установке NA61/SHINE по p+p, Be+Be, Ar+Sc, Pb+Pb столкновениям. Проведение экспериментальных исследований на пучке релятивистских ядер свинца. Исследование образования антиядер в Ar+Ca и Xe+La столкновениях.
3. Испытание трехплечевого магнитного спектрометра СКАН. Модернизация электроники сбора данных. Анализ экспериментальных данных.
4. Завершение модернизации триггерной системы на установке ФАЗА для регистрации ядерных фрагментов. Анализ экспериментальных данных в рамках статистических и динамических моделей. Подготовка нового проекта.
5. Поиск в диссоциации легких ядер состояния Хойла и нестабильных состояний ядерно-молекулярного типа.
6. Анализ данных пузырьковых камер, поиск и исследование новых явлений на базе суперкомпьютера ЛИТ ОИЯИ. Пополнение базы экспериментальных данных в области релятивистской ядерной физики.
7. Завершение реконструкции экспериментальной зоны канала-спектрометра 7В установки МАРУСЯ. Создание новой системы сбора данных установки. Ввод в эксплуатацию трековых и черенковских детекторов. Реконструкция мишенной станции с размещением мишени в вакууме. Разработка и создание нейтронного детектора. Проработка физической программы и подготовка нового проекта Тестовой Зоны SPD на базе экспериментальной установки МАРУСЯ.
8. Адаптация установки МАРУСЯ для тестовых испытаний детекторов для экспериментов на коллайдере NICA. Разработка проекта эксперимента FITNEX по изучению глубокоподпорогового рождения очарованных частиц с использованием реконструированной установки МАРУСЯ. Испытание прототипа мюонной системы регистрации для эксперимента FITNEX.
9. Подготовка технического проекта для измерения светимости на коллайдере NICA.
10. Подготовка предложения по исследованию структуры короткодействующих нуклон-нуклонных корреляций на внутренней мишени и выведенном пучке Нуклотрона.
11. Создание четырех плоскостей (с электроникой) детектора для измерения светимости.
12. Создание детекторов и алгоритмов, обработка для измерения светимости на NICA.
13. Подготовка предложений в программу измерений на e-RHIC обновленной установке PHENIX.

14. Публикация результатов анализа набранных данных на установке СПИН и набор новых данных.
15. Уточнение результатов, полученных на пропановой двухметровой камере, и анализ данных по результатам эксперимента NA61/SHINE.

### **Проекты по теме:**

<b>Название проекта</b>	<b>Руководитель проекта</b>	<b>Приоритет проекта (сроки реализации)</b>
1. NA61/SHINE	Малахов А.И.	1 (2022 - 2023)
2. СКАН-3	Афанасьев С.В.	1 (2017 - 2023)
3. БЕККЕРЕЛЬ2022	Зарубин П.И.	2 (2022 - 2023)

### **Основные этапы темы:**

<b>Этап темы или эксперимент</b>	<b>Руководители</b>	<b>Статус проекта или эксперимента</b>
Лаборатория или другие подразделения ОИЯИ Ответственные от лаборатории	Основные исполнители	
<b>1. Эксперимент NA61/SHINE</b>	<b>Малахов А.И. Мелкумов Г.Л.</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Модернизация Изготовление Анализ статистики</div>
ЛФВЭ	Бабкин В.А., Буряков М.Г., Головатюк В.М., Дмитриев А.В., Зайцев А.А., Колесников В.И., Колесников Р.Ю., Киреев В.А., Ленивенко В.В., Матвеев В.А., Румянцев М.М.	
ЛЯП	Любушкин В.В., Лыкасов Г.И., Попов Б.А., Терещенко В.В.	
<b>2. Эксперимент БЕККЕРЕЛЬ2022</b>	<b>Зарубин П.И.</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Набор данных Анализ статистики</div>
ЛФВЭ	Артеменков Д.А., Браднова В., Зайцев А.А., Корнегруца Н.К., Рукояткин П.А., Русакова В.В.	
<b>3. Эксперимент ФАЗА-3 для регистрации ядерных фрагментов</b>	<b>Авдеев С.П.</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Модернизация Изготовление Анализ статистики</div>
ЛЯП	Стегайлов В.И.	
ЛЯР	Кирокасян В.В., Козулин Э.М., Мышинский Г.В., Стрекаловский О.В.	
ЛФВЭ	Абраамян Х.У., Игамкулов З.А., Карч В., Корнюшина Л.В., Литвиненко А.Г., Рукояткин П.А., Садыгов З.А.	
<b>4. Проект СКАН-3.</b> <b>Создание прецизионного магнитного спектрометра СКАН-3 и проведение исследований ненуклонных степеней свободы в ядрах, нуклонных корреляций и ядерной фрагментации на внутренней мишени Нуклotronа</b>	<b>Афанасьев С.В. Львов А.И.</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Модернизация Изготовление Анализ статистики</div>
ЛФВЭ	Анисимов Ю.С., Балдин А.А., Бекиров В.Й., Вартик В., Дубинчик Б.В., Дряблов Д.К., Кильчаковская С.В., Кречетов Ю.Ф., Парайпан М., Сакулин Д.Г., Смирнов В.А., Сухов Е.В., Устинов В.В., Харьзов П.Р.	

<p><b>5. Поиск и исследование новых явлений на материалах, полученных при помощи пузырьковых камер, и их теоретическая интерпретация. Создание базы экспериментальных данных и образовательных программ в области релятивистской ядерной физики</b></p>	<p>Балдин А.А. Глаголев В.В.</p>	<p>Анализ статистики</p>
<p>ЛФВЭ</p>	<p>Аракелян С.Г., Балдина Э.Г., Белобородов А.В., Беляев А.В., Блеко Вер.В., Блеко Вит.В., Богословский Д.Н., Иерусалимов А.П., Илющенко В.В., Коровкин Д.С., Пухаева Н.Е., Рогачевский О.В., Сафонов А.Б., Троян А.Ю., Троян Ю.А., Харьзов П.Р.</p>	
<p><b>6. Изучение глубокоподпороговых процессов, прикладные и образовательные программы на установке Маруся</b></p>	<p>Балдин А.А.</p>	<p>Изготовление Набор данных</p>
<p>ЛФВЭ</p>	<p>Арефьев В.А., Афанасьев С.В., Базылев С.Н., Балдина Э.Г., Белобородов А.В., Богословский Д.Н., Беляев А.В., Блеко Вер.В., Блеко Вит.В., Берлев А.И., Дряблов Д.К., Ефимова Е.А., Коровкин Д.С., Сафонов А.Б., Старикова С.Ю., Слепнев И.В., Троян А.Ю., Троян Ю.А., Харьзов П.Р., Шиманский С.С.</p>	
<p>ЛТФ</p>	<p>Бондаренко С.Г.</p>	
<p>ЛЯП</p>	<p>Федоров А.Н.</p>	
<p><b>7. Использование тяжелых и легких ионов для прикладных исследований</b></p>	<p>Малахов А.И.</p>	<p>Реализация Изготовление Набор данных</p>
<p>ЛФВЭ</p>	<p>Агапов Н.Н., Анисимов Ю.С., Балдин А.А., Балдина Э.Г., Дряблов Д.К., Парайпан М.</p>	
<p><b>8. Модернизация оборудования установки "Станция внутренних мишеней Нуклotronа"</b></p>	<p>Афанасьев С.В. Колесников Р.Ю.</p>	<p>Модернизация Набор данных</p>
<p>ЛФВЭ</p>	<p>Анисимов Ю.С., Бекиров В., Дубинчик Б.В., Дряблов Д.К., Кильчаковская С.В., Кузнецов С.Н., Сакулин Д.Г.</p>	
<p><b>9. Испытания детекторов для измерения и контроля светимости на коллайдере NICA</b></p>	<p>Литвиненко А.Г.</p>	<p>Разработка и испытания прототипов</p>
<p>ЛФВЭ</p>	<p>Акбаров Р.А., Абраамян Х.У., Бокова Т.Ю., Игамкулов З.А., Корниюшина Л.В., Мильнов Г.Д., Мигулина И.И., Садыгов З.Я., Садыгов А.З., Шокин В.И.</p>	
<p>ЛНФ</p>	<p>Литвиненко Е.И.</p>	
<p><b>10. Изучение короткодействующих нуклон-нуклонных корреляций на модернизированной станции внутренних мишеней Нуклotronа.</b></p>	<p>Ладыгин В.П.</p>	<p>Изготовление Набор данных</p>
<p>ЛФВЭ</p>	<p>Гурчин Ю.В., Исупов А.Ю., Ладыгина Н.Б., Малахов А.И., Резников С.Г., Схоменко Я.Т., Терехин А.А., Тишевский А.В., Хренов А.Н.</p>	
<p><b>11. Обработка данных предыдущих сеансов установки PHENIX.</b> Подготовка программы измерений на EIC</p>	<p>Литвиненко А.Г.</p>	<p>Модернизация Анализ статистики</p>

ЛФВЭ

Авдеев С.П., Абраамян Х.У., Афанасьев С.В., Малахов А.И.,  
Рукояткин П.А.

## 12. Поиск и исследование новой заряженной частицы в интервале массы 2-120 МэВ

ЛФВЭ

**Никитин В.А.**

Анализ данных

Аникина М.Х., Белобородов А.В., Зайцев А.А., Рихвицкий В.С.,  
Троян А.Ю.

### Сотрудничество по теме:

Страна или международная организация	Город	Институт или лаборатория	Участники	Статус
Армения	Ереван	ЕГУ ННЛА	Балабекян А. + 2 чел. Гулканян Г.У. + 4 чел. Саркисян В.Р. + 1 чел.	Совместные работы Протокол
Болгария	Благоевград София	AUBG INRNE BAS Inst. Microbiology BAS SU	Мицова Э. Станоева Р. Иванов И.Ц. Костов Л. Пенев В.Н. Шкловская А. Данова С. Богомилов М. Колев Д.	Совместные работы Совместные работы
Германия	Дармштадт Франкфурт/М	TU Darmstadt FIAS Ун-т	Энсингер В. + 2 чел. Ботвина А.С. Газдинский М.	Совместные работы Совместные работы
Индия	Джайпур Мумбаи	Ун-т BARC	Кумар В. + 2 чел. Кумават Х. + 2 чел.	Совместные работы Совместные работы
Китай	Пекин	CIAE	Гуо С.Л.	Совместные работы
	Ухань	IHEP CAS	Чью Х.Х.	Консультации
Монголия	Улан-Батор	CCNU IPT MAS	Ли С.Л. Баатар Ц. + 2 чел. Тогоо Р. + 2 чел.	Консультации Протокол
Польша	Варшава Краков	UW INP PAS	Адушкевич А. + 3 чел. Салабура П. + 3 чел. Холынски Р. + 4 чел.	Совместные работы Совместные работы
	Лодзь Отвоцк (Сверк)	UL NCBJ	Дзиковски Т. Голембевский А. Хващевски С.	Совместные работы Совместные работы
Россия	Белгород Владикавказ	БелГУ BTC "Баспик"	Кубанкин А.С. + 4 чел. Джерапов Г.К. Кулов С.К. Кулова Н.С. Рыжков А.А. Самканашвили Д.Г. Самодуров П.С. Федотова Г.В. Пухаева Н.Е. + 2 чел. Батяев В.Ф.	Совместные работы Протокол
	Москва	СОГУ ИТЭФ	Ставинский А.В. + 7 чел. Титаренко Ю.Е. + 5 чел.	Договор Протокол
		МГУ НИИЯФ МГУ	Чепурнов А.С. + 2 чел. Ершов А.А. + 2 чел.	Совместные работы Совместные работы

		ФИАН	Басков В.А. Лебедев А.И. Львов А.И. Павлюченко Л.Н. Полухина Н.Г. + 5 чел. Полянский В.В. Ржанов Е.В. Сидорин С.С.	Совместные работы
	Москва, Троицк	ИЯИ РАН	Берлев А.И. Губер Ф.Ф. + 2 чел. Дмитриева У.А. Курепин А.Б. Пшеничнов И.А. Решетин А.И. Финогеев Д.А. Шабанов А.И.	Совместные работы
	Протвино	ИФВЭ	Алов В.А.+ 5 чел. Волков А.А. + 3 чел. Гапиенко В.А. + 5 чел.	Совместные работы
	С.-Петербург	НИИФ СПбГУ	Краснов Л.В. + 4 чел. Литвин В.Ф.	Совместные работы
	Саров	ВНИИЭФ	Феофилов Г.А. + 2 чел. Абрамович С.Н. Воинов А.М. Колесов В.Ф.	Совместные работы
Румыния	Смоленск	СмолГУ	Дюндин А.В. + 4 чел.	Протокол
	Томск	ТПУ	Главанаков И.В.	Совместные работы
	Черноголовка	ИСМАН РАН	Табаченко А.Н.	
	Бухарест	IFIN-HH	Пономарев В.И. + 1 чел.	Совместные работы
			Апостол М.	Протокол
			Каприни М. + 1 чел.	
			Константиу М. Кручеру М.Г. + 4 чел. Николеску Г. Пентя M. + 1 чел. Понта Т. + 5 чел. Поп И. + 4 чел. Циолаку Л.	
Словакия		INCDIE ICPE-CA	Карачук Ю.-Т. Попович Ю. + 2 чел.	Совместные работы
		UB	Джипа А. + 6 чел.	Совместные работы
	Констанца	UOC	Арджинтару Д. + 6 чел.	Совместные работы
	Мэгуреле	ISS	Могилдеа Г.	Протокол
			Могилдеа М. Фмру Е. + 2 чел.	
			Гмуца Ш. + 3 чел.	Протокол
			Дубничка С. Климан Я. + 4 чел. Матоушек В. Седлак М.	
Кошице	Братислава	IP SAS	Вокал С. + 4 чел.	Протокол
		UPJS	Врлакова И.	
			Михайличкова К.	

США	Айова-Сити Алтон Беркли	UIowa BNL Berkeley Lab	Норбек Е. Кистенев Э. Лерманн Л. Фридлендер Е. Бекмирзаев Р.Н. Жомуродов Д.М. Саттаров С.А.	Совместные работы Совместные работы Консультации
Узбекистан	Джизак	ДГПИ	Ибадов Р.М. Султанов М.У.	Протокол
	Самарканд	СамГУ	Гуламов У.Г. + 13 чел.	Совместные работы
	Ташкент	ФТИ НПО "Ф.-С." АН РУз	Навотный В.Ш.	Совместные работы
ЦЕРН	Женева	ЦЕРН	Де-Барбара П.	Совместные работы
Чехия	Прага	CTU	Врба В. + 4 чел.	Совместные работы
		CU	Фингер М. + 4 чел.	Совместные работы
	Ржеж	IMC CAS	Плештил Й. + 2 чел.	Совместные работы
		NPI CAS	Плоц О.	Совместные работы
			Шумбера М. + 2 чел.	
Швейцария	Женева	UniGe	Блондель А.	Совместные работы
Япония	Цукуба	Ун-т	Мияки Я.	Соглашение