**Расширенная аннотация**

**Предложения к открытию проекта «Исследование взаимодействия с нейтронов с ядрами и свойств нейтрона».**

Научная программа проекта «Исследование взаимодействия с нейтронов с ядрами и свойств» будет реализовываться в рамках четырех **подпроектов**:

1. **Подпроект «Ядерные реакции с нейтронами».**

Основные задачи, которые планируется решать в рамках данного подпроекта:

* 1. Изучение свойств нейтронных резонансов, поиск и исследование эффектов нарушения четности и эффектов, указывающих на нарушение Т-инвариантности.

Планируются эксперименты по измерению угловых корреляций вылета гамма-квантов как на уже известных p-волновых и s-волновых резонансах, так и нацеленные на поиск новых резонансов на различных изотопах со следующим списком целей:

- измерение характеристик p-волновых резонансов, в том числе с целью последующей проверки соответствия распределений этих характеристик стандартным статистическим моделям;

- исследование эффектов интерференции как p- и s-волновых резонансов, так и s-волновых резонансов друг с другом;

- изучение характеристик «отрицательных» s-волновых резонансов, проявляющихся в интерференции с р-волновыми резонансами, близкими к тепловой точке;

- поиск T-неинвариантных эффектов.

Для резонансов на ядрах актинидов в число измеряемых величин могут быть также включены наблюдаемые в канале деления. Работы планируются на источнике резонансных нейтронов ИРЕН.

* 1. Исследование TRI и ROT эффектов в делении

Эксперименты по изучению TRI и ROT эффектов в делении могут быть начаты на пучке поляризованных нейтронов реактора ИБР-2. Эффект ROT объясняется коллективным вращением составного ядра вплоть до разрыва. Эффект TRI отражает влияние вращающегося ядра на вероятность испускания тройных частиц. Было показано, что оба эффекта присутствуют параллельно с разными весами для всех изученных актинидов. В настоящее время наибольший интерес представляет измерение этих эффектов в резонансах, где наиболее ярко проявляется влияние (J,K) квантовых чисел на переходные состояния в седловой точке. Несмотря на большую длительность импульсов реактора ИБР-2, разрешающая способность времяпролетной методики позволяет на пролетных базах порядка 15-30 м разрешать низколежащие резонансы до нескольких электронвольт. Дальнейшие работы могут быть продолжены на внешних источниках нейтронов, таких как nTOF (ЦЕРН) CSNS (Китай) или ESS (Швеция).

* 1. Исследование индуцированных нейтронами реакций с вылетом заряженных частиц.

Будут продолжены работы по измерению сечений реакций (n,p), (n,α) на различных изотопах. Постановка экспериментов возможна на ИРЕН (En=th-100 кэВ); электростатических ускорителях ЭГ-5 ЛНФ, ЭГ-4.5 ПКУ, Пекин (En=3-6 МэВ); тандем ускоритель HI-13 CIAE, Пекин (En=8-11 МэВ) и CSNS в Китае.

Одной из приоритетных является задача по выяснению природы аномалии нейтронных резонансов в реакции 147Sm (n,α)144Nd. Такие работы планируются на светосильном нейтронном источнике по времени пролета CSNS (China spallation neutron source). Предварительные испытания аппаратуры могут быть выполнены на пучках нейтронов установки ИРЕН ЛНФ ОИЯИ.

Также планируется проведение цикла измерений Р-четных корреляций вперед-назад и анизотропии угловых распределений в реакциях 14N(n,p)14C и 35Cl(n,p)35S в широкой области энергии нейтронов, включающей низколежащие р-волновые резонансы, и анализ данных совместно с определенными ранее Р-нечетными и Р-четными лево-правыми корреляциями.

1. **Подпроект ЭНГРИН**

Целью подпроекта «Эмиссия Нейтронов и Гамма-квантов в Реакциях, Индуцированных Нейтронами» (ЭНГРИН) является исследование корреляций между вариациями множественности нейтронов и массово-энергетических распределений в делении, индуцированном резонансными нейтронами.

Эксперименты в рамках подпроекта планируются на 2м канале установки ИРЕН. Экспериментальная установка была создана в рамках проекта ЭНГРИН в 2021-23 гг и состоит из 32 модулей нейтронных детекторов с жидким сцинтиллятором BC501, расположенных вокруг ионизационной камеры деления. Исследования корреляций вариаций полной кинетической энергии с нейтронами удобно разделить на два эксперимента: в первом эксперименте измеряются вариации нейтронов с «толстой» мишенью, а корреляции массово-энергетических распределений и множественности МНД измеряются с тонкой мишенью и позиционно-чувствительной ионизационной камерой.

1. **Подпроект «Физика УХН и ОХН»**

В рамках деятельности по изучению физики ультрахолодных и очень холодных нейтронов (УХН и ОХН) можно выделить три основных направления:

* 1. Нейтронная оптика.

Планируется продолжить работы по изучению нестационарной дифракции на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Измерения будут проведены для широкого набора образцов, в которых возбуждаются как бегущие, так и стоячие поверхностные волны. При этом предполагается, что частоты волн могут достигать величин порядка Гигагерц. Передаваемая нейтронам энергия будет достигать величины порядка 4 мкэВ. Передача нейтронам такой большой энергии в результате нестационарного воздействия ранее не наблюдалась.

Также планируются работы, направленные на развитие нейтронной спиновой интерферометрии (НСИ) с ультрахолодными нейтронами (УХН). Физическая основа явления тесно связана с квантовой картиной прецессии спина в присутствии как постоянного магнитного поля, так и возмущающего потенциала, с которым нейтрон взаимодействует.

Для измерения времени взаимодействия нейтрона с квантовыми объектами планируется использовать метод ларморовских часов. Этот метод был предложен в качестве теоретического приема в вычисления времени рассеяния нейтрона, а много позже возможность его практического применения была продемонстрирована в экспериментах с холодными нейтронами.

* 1. Исследование взаимодействия нейтронов низких энергий с алмазными наночастицами.

Одним из инновационных решений, направленных на создание отражателей нейтронов в диапазоне энергий от ~0,3 мкэВ до ~5,0 мэВ, является разработка на основе порошков детонационных наноалмазов (ДНА). Научные задачи, которые все еще нужно решить по данному направлению исследования в рамках проекта:

* Определение оптимальных технологий синтеза и модификаций порошков ДНА для создания наноматериалов с заранее известными свойствами.
* Определение оптимальной плотности порошков ДНА для достижения максимального альбедо ОХН и ХН.
* Развитие моделей расчета транспорта ОХН и ХН в материале наноалмазных отражателей.
* Расширение области применимости разработанных моделей на диапазон тепловых нейтронов.
* Исследование устойчивости отражателей ДНА к внешним воздействиям.
* Изучение радиационной стойкости порошков наноалмазов при их облучении высокими дозами гамма-квантов и быстрыми нейтронами.
  1. Исследование взаимодействия холодных нейтронов с интеркалированным графитом.

Не так давно появилась технология внедрения между плоскостями графита цельной плоскости (или двух плоскостей) атомов фтора. Таким образом получается интеркалированный графит, который может эффективно рассеивать холодные нейтроны. Такой материал представляется перспективным в качестве отражателя холодных нейтронов, который можно использовать в сильных полях ионизирующего излучения. Исследование такого материала является одним из потенциальных направлений деятельности.

1. **Подпроект « Прикладные исследования»**

В рамках аналитических исследований на установке РЕГАТА реактора ИБР-2 планируется продолжение работ по мониторингу качества воздуха и состояния водных объектов стран-участниц ОИЯИ, используя целый ряд аналитических методов, в частности нейтронный активационный анализ. Также будет развивается направление нанотоксикология, где в качестве объектов исследования будут использованы микроорганизмы, растения и животные. Особое внимание будет уделено разработке методов очистки вод и почв, а также оценке качества продуктов питания.

Для проведения массового многоэлементного нейтронного активационного анализа для изучения монументальной живописи, строительных материалов прошлого, археологических артефактов, экологических, геологических и иных образцов будут использованы возможности установки ИРЕН и реактора ИБР-2, в частности, с применением пневмотранспортной системы РЕГАТА-2 на установке ИРЕН, установки на 3-м канале реактора ИБР-2, а также непосредственно на поверхности замедлителя установки ИРЕН. Кроме того, для полностью неразрушающего активационного анализа на мгновенных гамма квантах будут использовать канал 11б реактора ИБР-2, а для неразрушающего анализа по методу нейтронных резонансов – источник резонансных нейтронов ИРЕН.

Имеющийся в ЛНФ ОИЯИ электростатический ускоритель ЭГ-5 после модернизации будет использован для решения следующих задач:

1. Получение интенсивных (около 109 n/сек) потоки быстрых нейтронов с помощью реакций d(d,n)3He, d(t,n)4He, 7Li(p,n)7Be
2. Выполнения элементного анализа поверхностных слоев различных объектов с помощью пучков α-частиц, используя неразрушающие методики RBS, ERD и PIXE.
3. Проведения имплантации ионов в поверхностные слои различных материалов

**Ожидаемые научные результаты:**

* Уточнение характеристик известных резонансов, обнаружение ранее неизвестных. Измерение сечений реакций и корреляций продуктов в резонансной области с точностью, достаточной для исследования P- и T-нечетных эффектов.
* Выполнение экспериментов по исследованию TRI и ROT эффектов в делении, измерению массово-энергетических и угловых распределений осколков, мгновенных нейтронов и гамма-квантов; поиску редких и экзотических мод деления, как с использованием ИБР-2, так и сторонних источников.
* Проведение экспериментальных и теоретических исследований нейтрон-ядерных реакций в широком диапазоне энергий налетающих частиц.
* Исследование картины нестационарной дифракции нейтронов на поверхностных акустических волнах. Проверка справедливости общепринятых законов нейтронной оптики в случае больших ускорений.
* Развитие моделей расчета транспорта ОХН и ХН в материале наноалмазных отражателей и расширение области их применимости на диапазон тепловых нейтронов.
* Изучение структуры графитов после их интеркалирования и измерение сечений рассеяния холодных нейтронов интеркалированными графитами.
* Получение данных для ядерной энергетики и астрофизики: измерение интегральных и дифференциальных нейтронных сечений, угловых корреляций в области энергии от холодных нейтронов до сотен МэВ.
* Изучение радиационной стойкости различных материалов, в том числе, перспективных для применения в качестве отражателей и замедлителей нейтронов. Исследование радиационной стойкости электронных компонентов, в том числе, работающих на новых физических принципах.
* Получение новых данных и мониторинг экологической обстановки в отдельных регионах стран-участниц ОИЯИ с помощью НАА.
* Исследование влияния нейтронного облучения на свойства живых объектов
* Исследование слоистых структур, в том числе, высокотемпературных сверхпроводников с помощью методик RBS, ERD и PIXE.
* Выполнение элементного анализа различных объектов культурного наследия.

**Ожидаемые методические результаты:**

* Развитие методики нейтронной спиновой интерферометрии с УХН.
* Определение оптимальных технологий синтеза и модификаций веществ для использования в качестве отражателей УХН и ХН.
* Разработка методов очистки вод и почв, оценки качества продуктов питания.
* Изучение процессов накопления наночастиц в органах животных и растений, оценка их влияния на здоровье изучаемых живых объектов.
* Разработка методики неразрушающего элементного анализа на мгновенных гамма-квантах. Усовершенствование существующих методик активационного анализа на тепловых и резонансных нейтронах.
* Выполнение работ по созданию электроники и датчиков ионизирующих излучений на новых физических принципах.

**Краткий ССВУ анализ**

Выполнение проекта предполагается силами коллектива ОЯФ ЛНФ, имеющего большой опыт в изучении нейтрон-ядерных реакций и проведении прикладных исследований. В его состав входит как большое число молодых (до 35 лет, 44 человека), так и более опытных (77 человек) сотрудников. Многие имеют степени кандидатов и докторов наук. В распоряжении коллектива имеется значительное число детекторов различных типов, позволяющих регистрировать практически любые продукты нейтрон-ядерных взаимодействий. Некоторое оборудование (детекторные сборки, ионизационные камеры, мишени для ускорителей, оцифровщики, устройства автоматизации) может быть создано силами коллектива. Это, бесспорно, является сильной стороной проекта.

В ходе программы исследований предполагается использование большого числа объектов научной инфраструктуры как ЛНФ ОИЯИ (ИБР-2, ИРЕН, ЭГ-5, ТАНГРА), так и сторонних организаций: n\_TOF (CERN), ЭГ-4.5 (Пекинский университет, Китай), ускорители HI-13 (CIAE, Китай), что может привести к рискам сокращения научной программы из-за изменений международной обстановки, что можно отнести к умеренно слабой стороне проекта. В то же время, значительная часть экспериментов может быть проведена на установках, имеющихся в ОИЯИ.

Установки, имеющиеся в ЛНФ, нуждаются в текущем ремонте, модернизации и сертификации, что может быть фактором, затрудняющим выполнение проекта. Тем не менее, к настоящему моменту отсутствуют значительные проблемы в приобретении критически необходимых компонентов для проведения ремонтных работ и проведения сертификации объектов научной инфраструктуры, поэтому в случае осложнений можно ожидать лишь замедления исследований.

*Предполагаемые сроки выполнения проекта: 2024 – 2028 гг.*

*Оценочная стоимость проекта составляет 4635 тыс. долл.*