**Расширенная аннотация**

**предложения к открытию темы «Нейтронная ядерная физика»**

Ядерно-физические исследования с нейтронами традиционно являются одним из приоритетных направлений, развиваемых в ОИЯИ. Комплексное использование базовых установок ЛНФ – импульсного источника резонансных нейтронов ИРЕН, импульсного реактора ИБР-2 и электростатического генератора ЭГ-5, а также установки ТАНГРА - позволяет проводить эксперименты в широком диапазоне энергий нейтронов – от холодных до ~20 МэВ, а использование внешних источников нейтронов, таких как n\_TOF (ЦЕРН), позволяет расширить диапазон энергий до нескольких сот МэВ.

Работы и исследования в рамках темы направлены на реализацию задач, сформулированных в предложениях в Семилетний план развития ОИЯИ 2024-2030 по направлению «Ядерная физика». Физические исследования можно разделить на три направления:

* исследование нарушений фундаментальных симметрий во взаимодействиях нейтронов с ядрами, получение ядерных данных;
* исследование фундаментальных свойств нейтрона, физика ультрахолодных и очень холодных нейтронов;
* прикладные и методические исследования.

Научная программа темы «Нейтронная ядерная физика» будет реализовываться в рамках трех проектов: двух научных («*Исследование взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона*» и «*ТАНГРА*») и одного научно-технического («*Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры*»). Работы по *разработке концепции источника УХН на импульсном реакторе* планируются выделить в отдельную активность.

1. **Проект «*Исследование взаимодействия нейтронов с ядрами и свойств нейтрона».***

В рамках данного проекта будут решаться следующие задачи:

* Изучение свойств нейтронных резонансов, поиск и исследование эффектов нарушения четности и эффектов, указывающих на нарушение Т-инвариантности.
* Всестороннее исследование процесса деления ядер: изучение TRI и ROT эффектов в делении; измерение массово-энергетических и угловых распределений осколков, мгновенных нейтронов и гамма-квантов; измерения запаздывающих нейтронов и гамма-квантов; поиск редких и экзотических мод деления (четверное и пятерное деление; деление на три осколка сравнимой массы).
* Исследование индуцированных нейтронами реакций с вылетом заряженных частиц.
* Получение данных для ядерной энергетики и астрофизики: измерение интегральных и дифференциальных нейтронных сечений, угловых корреляций  в области энергии от холодных нейтронов до сотен МэВ.

Планируется возобновление измерений угловых корреляций и выходов гамма-квантов для уже известных p-волновых резонансов в различных ядрах, а также поиск новых p-резонансов и новых эффектов, указывающих на нарушение четности и Т-инвариантности. Основные работы предполагается проводить на источнике резонансных нейтронов ИРЕН.

Эксперименты по измерению формально Т-нечетных TRI и ROT эффектов в делении, проводимые на высокопоточных реакторах ИЛЛ (Гренобль) и FRM-II (Гархинг), будут продолжены в ОИЯИ на пучке поляризованных нейтронов реактора ИБР-2. 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).

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. 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.

В рамках темы планируется исследование корреляций между вариациями множественности МНД и массово энергетических распределений (МЭР) в делении, индуцированном резонансными нейтронами. Выполнение экспериментов планируются на канале №2 ИРЕН с помощью установки ЭНГРИН, созданной в 2021-23 гг.

В рамках деятельности по изучению физики ультрахолодных и очень холодных нейтронов (УХН и ОХН) можно выделить три основных направления: исследование квантовых явлений в нейтронной оптике; исследование взаимодействия медленных нейтронов с алмазными наночастицами и исследование взаимодействия холодных нейтронов с интеркалированным графитом.

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. Также планируются работы, направленные на развитие нейтронной спиновой интерферометрии (НСИ) с ультрахолодными нейтронами (УХН). Для измерения времени взаимодействия нейтрона с квантовыми объектами планируется использовать метод ларморовских часов.

Планируются исследования свойств порошков детонационных наноалмазов (ДНА), которые могут быть использованы в качестве эффективных отражателей очень холодных нейтронов (ОХН). Применение таких отражателей наиболее эффективно для нейтронов в диапазоне энергий от ~0,3 мкэВ до ~5,0 мэВ. В частности, важнейшей задачей является изучение радиационной стойкости порошков наноалмазов при их облучении высокими дозами гамма-квантов и быстрыми нейтронами.

Не так давно появилась технология внедрения между плоскостями графита цельной плоскости (или двух плоскостей) атомов фтора, в результате чего получается т.н. 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 интеркалированного графита является одним из потенциальных направлений деятельности в рамках темы.

В рамках прикладных исследований планируется продолжение работ по мониторингу качества воздуха и состояния водных объектов стран-участниц ОИЯИ, используя целый ряд аналитических методов, в частности нейтронный активационный анализ на установке РЕГАТА реактора ИБР-2. 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. Будет продолжено использование ядерных и комплементарных методов для изучения монументальной живописи, строительных материалов прошлого, археологических артефактов, экологических, геологических и иных образцов.

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. Также для определения элементного состава будет использован рентгенофлуоресцентный анализ. Планируется применение взаимодополняющих методов инфракрасной и рамановской спектроскопии, оптической и поляризационной микроскопии, химического микроанализа, других методов и подходов.

Имеющийся в ЛНФ ОИЯИ электростатический ускоритель ЭГ-5 после модернизации будет использован для получения интенсивных потоков быстрых нейтронов;элементного анализа поверхностных слоев различных объектов с помощью пучков α-частиц, используя неразрушающие методики RBS, ERD и PIXE; проведения имплантации ионов в поверхностные слои различных материалов

1. **Проект «ТАНГРА»*.***

Проект посвящен решению фундаментальных и прикладных задач с применением метода меченых нейтронов (ММН). Областью интереса проекта являются ядерные реакции, происходящие под действием нейтронов с энергией около 14 МэВ. Основные задачи, решаемые в рамках проекта:

* Выполнение экспериментов по исследованию угловых распределений рассеянных нейтронов.
* Экспериментальное исследование (n,γ) и (n’,γ)-корреляций.
* Теоретическое описание исследуемых реакций.
* Проведение экспериментов по исследованию реакции (n,2n).
* Разработка методики элементного анализа почв, в частности, определения концентрации углерода в почве. Создание прототипов стационарной и мобильной установок, а также методических рекомендаций по их использованию для целей сельского хозяйства и экологического мониторинга.
1. **Проект «Модернизация ускорителя ЭГ-5 и его экспериментальной инфраструктуры».**

В результате выполнения проекта будут существенно улучшены параметры ускорителя, обновлена инфраструктура ускорительного комплекса, начато развитие установок неразрушающего элементного и структурного анализа различных объектов.

Основной технической задачей проекта является восстановление диапазона энергий ускоренных частиц: 900 кэВ - 4,1 МэВ и повышение тока ионного пучка до 100-250 мкА при сохранении энергетической стабильности ионного пучка на уровне не хуже 15 эВ, обеспечение пространственной стабильности ионного пучка, достаточной для реализации опции микропучкового спектрометра / ядерного микрозонда. В задачи проекта также входит усовершенствование основных систем электростатического ускорителя заряженных частиц ЭГ-5, создание на его базе нейтронного источника, позволяющего изучать нейтрон-ядерные реакции и выполнять исследование различных объектов ядерно-физическими методами. Также в его рамках планируется развитие комплементарных экспериментальных методик для исследования элементного состава и физических свойств приповерхностных слоев твердых тел.

Уникальное свойство одноступенчатого ускорителя – высокая энергетическая стабильность (свыше 0,01%) ионного пучка позволяет с очень высокой точностью проводить исследования элементного состава поверхностных слоев материалов и обусловливает возможность создания на основе ЭГ-5 уникального микропучкового спектрометра с диаметром пучка менее 1мкм. Такие пучки не могут быть получены, например, на популярных сейчас перезарядных ускорителях — тандетронах. В рамках предлагаемого проекта предполагается выполнить, при поддержке ИЯФ им Будкера (г. Новосибирск), работы по замене устаревшей и утратившей работоспособность высоковольтной системы (ВЧ-источник ионов и ускорительная трубка), провести обновление и автоматизацию сервисных систем ускорителя, запустить нейтронный генератор, модернизировать комплекс ионно-лучевых спектрометров и развить комплементарную методологическую базу.

**Активность: «Разработка концепции источника УХН на импульсном реакторе»**

Целью данной активности является создание концептуального проекта источника ультрахолодных нейтронов (УХН) на импульсном реакторе. Таковым может быть являться как имеющийся в ЛНФ реактор ОИЯИ ИБР-2М так и проектируемый реактор НЕПТУН.

Особенностью будущего источника УХН в ОИЯИ является импульсный режим наполнения ловушки, при котором нейтроны поступают в нее только во время импульса, а остальное время ловушка остается изолированной. Практическое осуществление этой идеи затруднено тем обстоятельством, что из-за наличия биологической защиты ловушка оказывается удаленной от замедлителя, при этом разброс времен пролета транспорта может значительно превышать интервалы между импульсами, лишая смысла саму идею накопления. Для решения этой проблемы предлагается использовать специальное устройство — временную линзу, дозированно меняющее энергию нейтронов по мере их прихода в эту линзу, что позволяет восстановить импульсную структуру нейтронного пучка непосредственно перед входом в ловушку.

Результатом научной деятельности в рамках предлагаемой активности будет формулировка концепции интенсивного источника УХН на импульсных реакторах ОИЯИ. Основной целью работы является создание в ОИЯИ источника УХН с параметрами, соответствующими современному мировому уровню.

**Краткий ССВУ анализ**

Выполнение работ по теме 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, так и более опытных 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.

*Срок реализации темы будет определяться сроками исполнения проектов.*

*Полная сметная стоимость темы составляет 5925 тыс. долларов.*