

Отчет по завершающейся теме «Развитие экспериментальной базы для проведения исследований конденсированных сред на пучках ИЯУ ИБР-2», проекту "Разработка ДТМ - системы окружения образца для дифрактометра ДН-12 на ИБР-2М" и предложение о продлении темы и проекта ДТМ на 2018/2020 гг. и открытии проекта "Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР".

Шифр темы: 04-4-1122-2015/2017
Лаборатория: ЛНФ имени И.М. Франка
Отделение: ОНИРКС
Отдел: НЭО КС
Направление: «Физика конденсированных сред (04)»
Руководители темы: С.А. Куликов, В.И. Приходько

Изучаемая проблема и основная цель исследований:

Разработка и создание системы управления и контроля криогенного замедлителя КЗ-201 в направлении пучков №1,4,5,6,9 реактора ИБР-2. Создание оборудования, электронной аппаратуры и программного обеспечения для комплекса спектрометров реактора ИБР-2; развитие информационно-вычислительной инфраструктуры ЛНФ в соответствии с потребностями Лаборатории и стратегией развития вычислительной сети ОИЯИ.

Ожидаемые результаты по завершении темы:

1. Разработка и создание системы управления замедлителя КЗ201. Пуск и наладка замедлителя КЗ201 после завершения монтажа. Проведение пробных загрузок камеры. Поддержка и текущая модернизация замедлителя КЗ202 с системами управления и контроля. Проведение экспериментов по исследованию радиационной стойкости материалов.
2. Развитие и применение программного комплекса VITESS и других пакетов программ для моделирования нейтронного рассеяния в образцах и в отдельных компонентах спектрометров. Комплексный расчет и оптимизация спектрометров.
3. Оснащение детекторами спектрометров реактора ИБР-2. Исследование возможности использования сильноточных режимов работы газовых детекторов для регистрации нейтронов. Разработка детекторов с негелиевым конвертером нейтронов. Разработка прототипа позиционно-чувствительного детектора с разрешением менее 1мм и исследование его характеристик.
4. Создание комбинированного горизонтально-вертикального криостата со сверхпроводящим магнитом и изменяемой температурой 4-300К для дифрактометра ДН-12. Разработка и модернизация криостатов на спектрометрах ИБР-2.

5. Развитие систем сбора данных, систем контроля и управления исполнительными механизмами, оборудованием окружения образца и прерывателями спектрометров. Совершенствование программного обеспечения спектрометров.
6. Развитие сетевой и вычислительной инфраструктуры ЛНФ в соответствии с потребностями Лаборатории и стратегией развития вычислительной сети ОИЯИ.

Часть 1. ОТЧЕТ.

За период 2015/17 гг. успешно выполнялись все работы, предусмотренные ежегодными проблемно-тематическими планами. Результаты работ отражены в годовых отчетах и докладах директора ЛНФ на ПКК по физике конденсированных сред, Ученом Совете ОИЯИ и в докладах сотрудников НЭОКС ИБР-2 на международных и национальных конференциях, также в многочисленных журнальных публикациях (<http://flnp.jinr.ru/37/>). Результаты работ по теме легли в основу соответствующих разделов предложений Лаборатории в семилетний план развития Института на 2017-2023 гг. (физика конденсированных сред).

Работы по теме выполнялись коллективом **Отдела комплекса спектрометров ИБР-2** в тесном взаимодействии с сотрудниками других подразделений Лаборатории, работающих по темам 1121 и 1105. В первую очередь, следует назвать **Отдел нейтронных исследований конденсированных сред** (совместные работы по созданию и развитию спектрометров), а также **Механико-технологический отдел и службы ИЯУ ИБР-2** (работы по криогенным замедлителям). Ниже приводятся краткие отчеты по основным направлениям выполненных исследований и разработок по теме 1122.

1.Комплекс криогенных замедлителей КЗ-201, КЗ-202 реактора ИБР-2 и установка для радиационных исследований.

В отчетный период 2015-2017 гг. проводились исследования на специальном испытательном стенде шарикового криогенного замедлителя с участком подъема в 40° в направлении экспериментальных каналов №№1, 4, 5, 6, 9 (**Рис.1.1**).

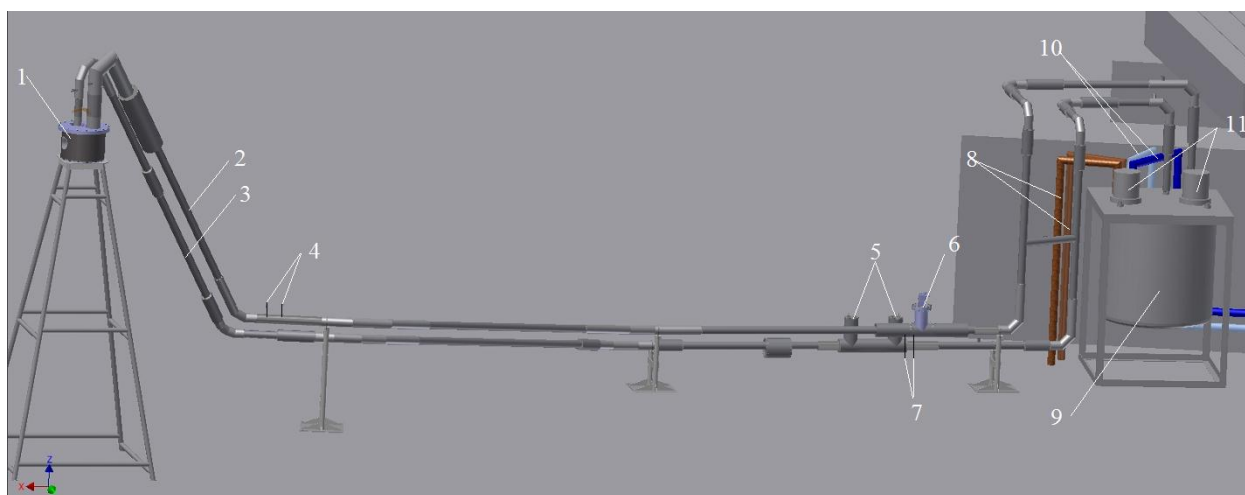


Рис.1.1. 3D-модель испытательного стенда холодного замедлителя «КЗ-201» реактора ИБР-2: 1 – камера-имитатор в вакуумном цилиндрическом кожухе, 2 – трубопровод подвода гелия к камере-имитатору, 3 – трубопровод отвода гелия от камеры-имитатора, 4, 7 – выходы для датчиков дифференциального давления, отслеживающих движение шариков в трубопроводе, 5 – трубки Пито, 6 – дозирующее устройство, 8 – трубопроводы КГУ для подвода и отвода гелия, 9 –

криостат с теплообменником, 10 – трубопроводы подвода и отвода гелия замедлителя «КЗ-202», 11 – гелиевые газодувки.

В результате исследований было проведено несколько полных загрузок камеры стенда замороженными шариками (**Рис.1.2**). Несмотря на участок довольно «крутого» подъема, шарики легко преодолевают его и пневматическая транспортировка происходит в обычном режиме. Система контрольно-измерительных приборов и программное обеспечение стенда показали стабильную и безотказную работу на протяжении всех экспериментов и в дальнейшем будут использованы при эксплуатации реального замедлителя КЗ-201.



Рис.1.2. Снимок камеры во время проведения эксперимента. Температура внутри камеры $T = 80 \text{ К}$. Загружено ~ 15000 шариков (0,5 л).

Разработаны, созданы и успешно испытаны на лабораторном стенде устройство для беззотной загрузки замороженных шариков в камеру холодного замедлителя (**Рис.1.3**) и новое устройство – диафрагма для измерения расхода газообразного гелия в пневмотранспортном трубопроводе замедлителя.

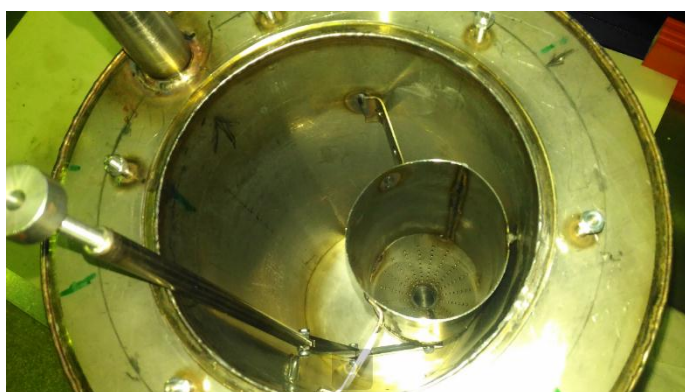


Рис.1.3. Устройство для беззотной загрузки замороженных шариков в камеру КЗ-202.

Продолжалась штатная эксплуатация криогенного замедлителя КЗ-202 на физический эксперимент, при этом за отчетный период замедлитель проработал в течение шести циклов реактора ИБР-2. За все время опытной эксплуатации с 2012 года холодный замедлитель безаварийно отработал на физический эксперимент более 2500 часов.

В рамках развития работ по тематике холодного замедлителя исследован ароматический углеводород – трифенилметан и проведено его сравнение с используемым в настоящее время веществом – смесью мезитилена и м-ксилола. Установлено, что радиационная стойкость трифенилметана в ~10 раз лучше, чем у смеси. Изучение выхода холодных нейтронов из трифенилметана при различных температурах и сравнение результатов со смесью продолжается на спектрометрах ДИН-2ПИ и НЕРА-ПР.

Разработано техническое задание на создание разгрузочного устройства шнекового типа для замедлителя КЗ201 (Рис.1.4). Это устройство предназначено для непрерывной замены замедляющего вещества в камере замедлителя.

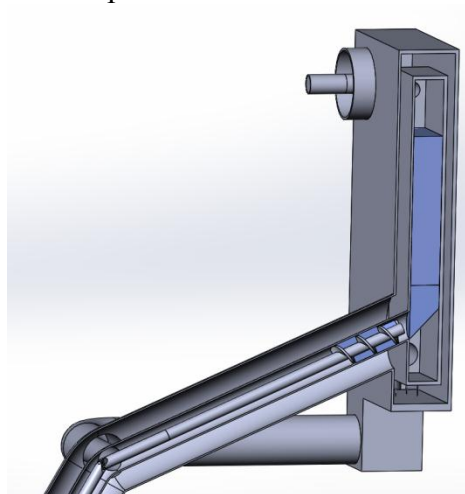


Рис.1.4. Разгрузочное устройство шнекового типа (модель).

Проводится модернизация установки для радиационных исследований на 3-м канале реактора ИБР-2, в частности проводится замена разработанного и изготовленного пульта управления; выполнены проектирование, изготовление и проводится монтаж биологической защиты. На облучательной установке проведен ряд экспериментов по облучению монокристаллов алмаза (Рис.1.5а), магнитных 3D- датчиков Холла (Рис.1.5б) и изотопов Ir-193, Mo-98, Te-131; изучена природа радиационных дефектов в минералах топазов (Рис.1.5в) и образцах кремниевых сцинтилляторов (Рис.1.5г) после облучения.

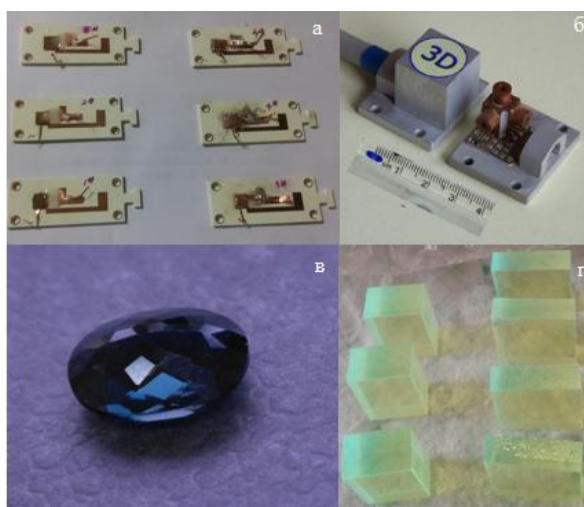


Рис. 1.5. Образцы, для которых проводились эксперименты по облучению на установке для радиационных исследований: а – монокристалл алмаза, б – магнитные 3D-датчики Холла, в – топаз, г – кремниевые сцинтилляторы.

В последнее время при активном участии сотрудников НЭОКС ИБР-2 в ЛНФ рассматриваются и анализируются возможные варианты будущего импульсного источника нейтронов ОИЯИ, так как ныне действующий реактор ИБР-2 исчерпает свой ресурс ориентировочно к 2032 году. Цель работы – изучить возможность создания такого источника нейтронов, в частности, на основе Np-237 (**Рис.1.6**), чтобы он мог составить конкуренцию другим действующим и проектируемым импульсным источникам нейтронов, в том числе и зарубежным.

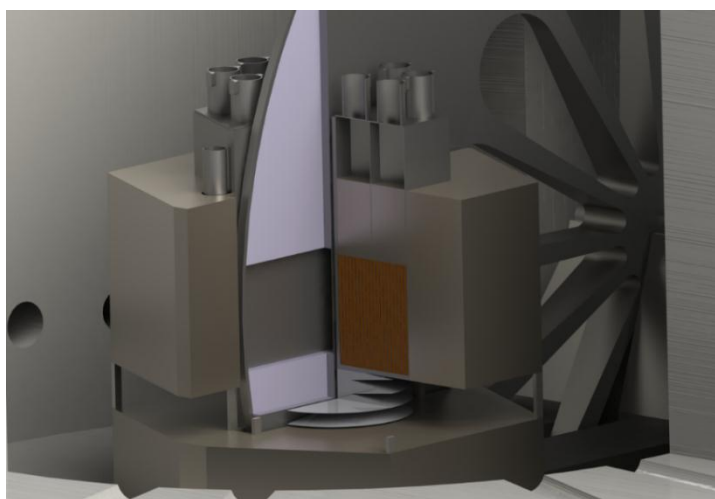


Рис.1.6. Проект реактора на основе нептуния Np-237.

2. Расчеты и моделирование спектрометров.

За отчетный период разработаны, протестированы и внедрены в практику программы моделирования нейтронных спектрометров и экспериментов для комплекса VITESS (Virtual Instrument Tool for European Spallation Source). В ЛНФ разработана почти половина всех модулей VITESS, в частности, практически полностью реализованы задачи по моделированию нейтронных инструментов с поляризованными нейтронами. Успешно проведено моделирование различных флипперов и спин-эхо спектрометров с постоянными и время-зависящими магнитными полями. При этом магнитные поля могут быть как модельными (встроены в модули), так и рассчитаны внешней программой (MagNet, Ansys и т.д.). В VITESS были встроены (и успешно используются) практически все существующие на сегодняшний день нейтронно-оптические элементы: нейтронороды, бендеры, зеркала, линзы, призмы и их комбинации, а также обеспечена возможность моделирования нейтронных детекторов (в том числе и позиционно чувствительных) с временной фокусировкой.

Можно отметить, что к настоящему времени в основном завершена разработка специальных математических моделей и соответствующих программ для моделирования полного рефлектометрического и GISANS экспериментов на образцах, включая многослойные шероховатые образцы и магнитное рассеяние. Разработаны различные модификации кинематического приближения с введением глубины проникновения, учетом преломления и перенормировкой полученных данных. Разработанные программы имеют

формат входных и выходных данных, совместимый с известной программой моделирования BornAgain, использующей метод DWBA (Distorted Wave Born Approximation).

Основной акцент был сделан на моделирование модифицированным кинематическим приближением зеркального отражения и картины дифракции нейтронного пучка от регулярно упорядоченных наноструктурированных объектов на поверхности и сравнение полученных результатов с реальным экспериментом и DWBA моделированием. Показано, что использованное при моделировании зеркального отражения, модифицированное кинематическое приближение, учитывающее эффект преломления нейтронной волны на границе (границах) раздела сред, дает неплохое согласие с известными экспериментальными данными и методом Парратта, который является наиболее точным методом динамической теории. Также установлено, что для модифицированного кинематического приближения применение глубины проникновения при моделировании является критически важным, т.к. позволяет успешно подавлять паразитные сильно осциллирующие сигналы от подложки образца.

В качестве примера ниже приведены результаты моделирования двух виртуальных полных рефлектометрических экспериментов (дифракция на столбиках из золота на подложке из кремния (**Рис. 2.1**)) в модифицированном кинематическом приближении.

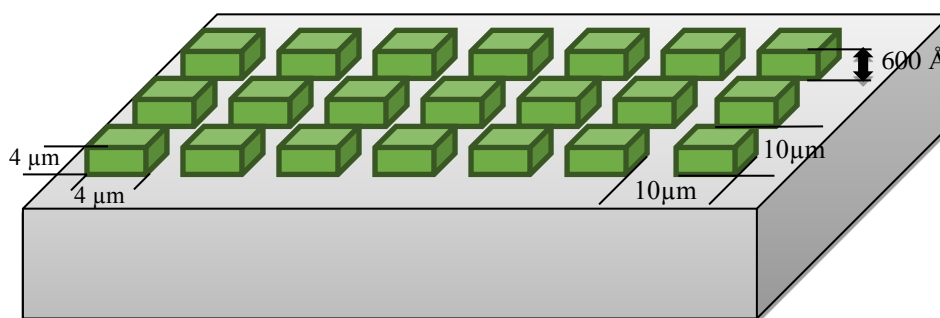


Рис.2.1. Система из золотых столбиков на подложке кремния (высота столбиков 600 Å, ширины столбиков 4x4 μm, периоды в горизонтальной плоскости - 10x10μm).

Результаты моделирования системы, изображенной на **Рис.2.1**, для полного рефлектометрического эксперимента показаны на **Рис.2.2**.

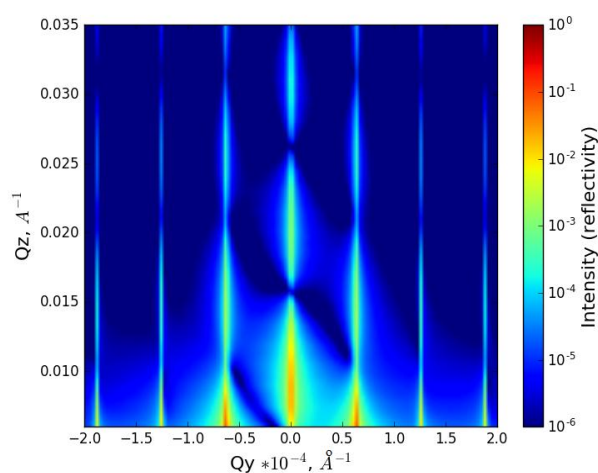


Рис. 2.2. Моделирование полного рефлектометрического эксперимента в модифицированном кинематическом приближении системы из золотых столбиков на подложке кремния.

Результаты моделирования зеркального отражения системы, изображенной на **Рис.2.1**, четырьмя методами приведены на **Рис. 2.3**:

- 1) метод Парратта, динамическая теория (самый точный метод);
- 2) Борновское приближение;
- 3) кинематическое приближение с учетом преломления на столбиках;
- 4) кинематическое приближение с учетом преломления на столбиках и кремниевой подложке.

Наилучшее совпадение с методом Парратта продемонстрировало модифицированное кинематическое приближение с учетом преломления, как на столбиках, так и на подложке. Таким образом, учет преломления является критически важным при использовании кинематического приближения.

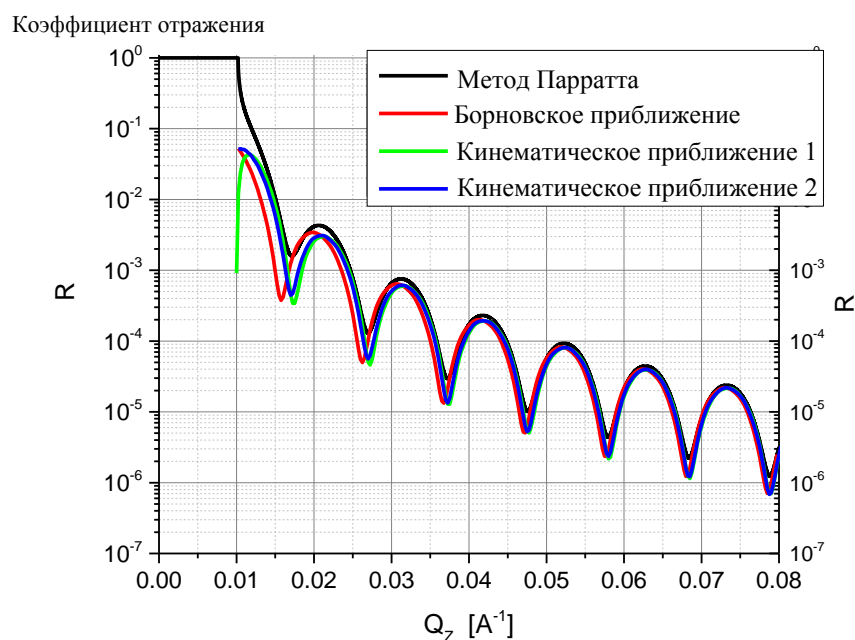


Рис. 2.3. Моделирование зеркального отражения для системы, изображенной на рис.5, различными методами.

Более подробное описание работ этого направления можно найти в годовых отчетах, там же содержатся ссылки на многочисленные журнальные статьи.

3. Спектрометр FSS.

Совместно с сотрудниками НЭОНИКС ЛНФ и ПИЯФ (г. Гатчина) продолжались работы по созданию на 13 канале ИБР-2 нового фурье-дифрактометра высокого разрешения на основе оборудования спектрометра FSS, полученного из исследовательского центра GKSS (Геесхахт, Германия).

Смонтированы секции нейтроновода (**Рис. 3.1, 3.2**) и вакуумное оборудование, а также выполнены юстировка оптических секций и вакуумное уплотнение нейтроновода.



Рис. 3.1 Начальный участок изогнутого нейтронвода и Фурье-прерыватель на 13 канале ИБР-2.



Рис. 3.2 Выходная секция нейтронвода.

Измерены характеристики пучка на выходе нейтронвода и проведена работа по улучшению фоновых условий на спектрометре. На **Рис.3.3** показано распределение интенсивности пучка по оси X на выходе нейтронвода.

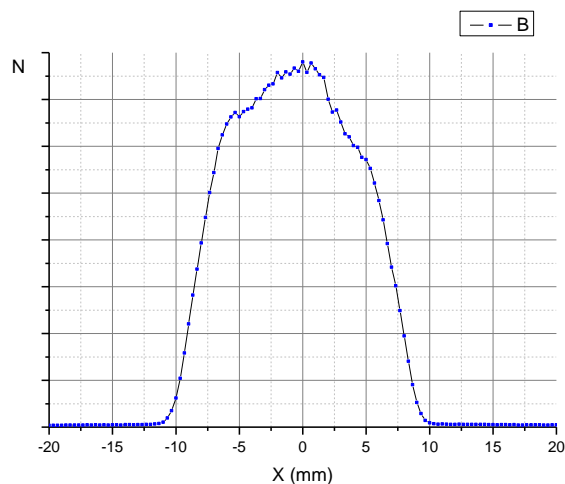


Рис.3.3. Распределение интенсивности пучка по оси X на выходе нейтронвода.

На **Рис.3.4** приведено сравнение, рассчитанного методом Монте-Карло, распределения интенсивности нейтронного пучка на выходе зеркального нейтронвода (в

расчетах использовался коэффициент отражения $R = 0.99$) с измеренным на образце ванадия спектром на реальном зеркальном нейтроноводе, который использовался в исследовательском центре GKSS (Германия). Максимумы по длине волны измеренного и расчетного спектров совпадают. Сужение измеренного спектра объясняется наличием повреждений зеркального покрытия нейтроновода. Измеренная максимальная плотность потока по сечению пучка на выходе нейтроновода составляет примерно 5×10^5 н/сек·см².

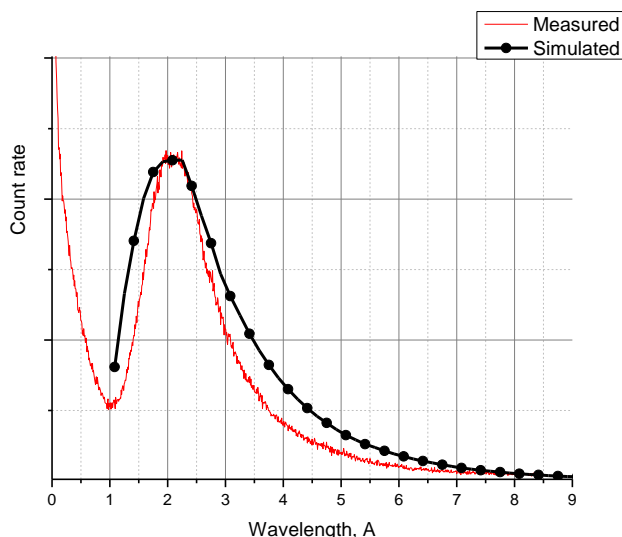


Рис.3.4 Рассчитанное и измеренное распределения интенсивности нейтронного пучка на выходе зеркального нейтроновода.

Для сбора и накопления данных с двух сцинтилляционных детекторов на литиевых стеклах настроены блоки детекторной электроники, полученные из GKSS, а также разработанные в ЛНФ 32-х канальный блок дискриминаторов и контроллер MPD-32 (**Рис.3.5**, **Рис.3.6**).



Рис.3.5. Стол образца с гониометром и 90° сцинтилляционные детекторы “Ost” и “West” на 13 канале ИБР-2.



Рис.3.6. Электроника в/в питания детекторов (верхний крейт), блоки детекторной электроники и электроники накопления данных (нижний крейт).

Введена в эксплуатацию система контроля и управления фурье-прерывателем FSS (см. раздел б).

Дальнейшие работы по этому дифрактометру в рамках данной темы в основном будут связаны с развитием детекторной системы, заменой секций нейтронотода и модернизацией фурье-прерывателя.

4. Криогеника и вакуумные системы.

Основные работы по данному направлению темы 1122 проводились в соответствии с проектом "**Разработка ДТМ - системы окружения образца для дифрактометра ДН-12 на ИЯУ ИБР-2**", целью которого является создание криостата для температурных и магнитных исследований конденсированных сред при давлениях до 10 ГПа на спектрометре ДН-12. Проект является развитием горизонтального криостата ДН-12, который обеспечивает проведение экспериментов в области температур (300 – 4) К и в магнитном поле 0 – 4 Тл. Для существенного расширения круга научных задач, решаемых с помощью этого дифрактометра, потребовалось создание криостата с изменяемыми температурой и магнитным полем, что позволит при исследовании сложных магнитных структур разделять эффекты от различных типов взаимодействий, строить подробные магнитные фазовые диаграммы исследуемых магнетиков и детально изучать механизмы магнитных фазовых переходов.

Магнит представляет собой Гельмгольцеву пару катушек, изготовленных из высокотемпературной сверхпроводящей ленты второго поколения YBCuO (производится фирмой «Суперокс», Россия). Магнит охлаждается криокулером замкнутого цикла. В центр магнита через горизонтальную шахту вводится криостат с камерой высокого давления, которая, в свою очередь, охлаждается другим криорефрижератором замкнутого цикла. Температура камеры устанавливается контроллером в диапазоне (300 – 4) К.

Проект выполняется совместно с Национальным институтом исследований и электротехники ICPE-SA, Бухарест, Румыния.

По данному проекту выполнены следующие основные работы:

- Разработана техническая документация на криостат и магнит с величиной поля до 4 Тл.
- Разработан и изготовлен станок для намотки катушек магнита из сверхпроводника с высокотемпературной проводимостью.
- Изготовлен криостат для охлаждения магнита.
- Изготовлен магнит.
- Разработан и испытан горизонтальный криостат для охлаждения камер высокого давления. Этот криостат с камерой вводится в магнитное поле сверхпроводящего магнита.
- Введен в эксплуатацию источник питания сверхпроводящего магнита с рабочим током до 300А.
- Проведены испытания криостата с магнитом. Измерена постоянная магнита равная 0.0154 Тл/А. Введен ток величиной 90 А. Получена величина магнитного поля 1.386 Тл.

На **Рис. 4.1-4.3** представлены общий вид криостата, его размещение на вертикальной стойке криостенда во время испытаний в отделе НЭОКС ИБР-2 и процесс

изготовления обмоток магнита на намоточном станке. На **Рис.4.4** показаны графики температур различных частей криостата в процессе охлаждения. Достигнутые конечные температуры макета магнита — 16 К, теплых концов ВТСП токовводов — 58 К. Достигнутая температура образца — 2,8 К соответствуют проектным значениям.

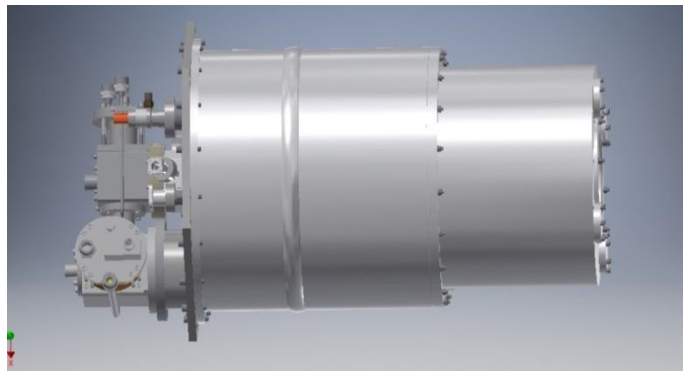


Рис.4.1. Общий вид криостата.



Рис.4.2. Криостат на криостенде.



Рис. 4.3. - Изготовление обмотки магнита на станке.

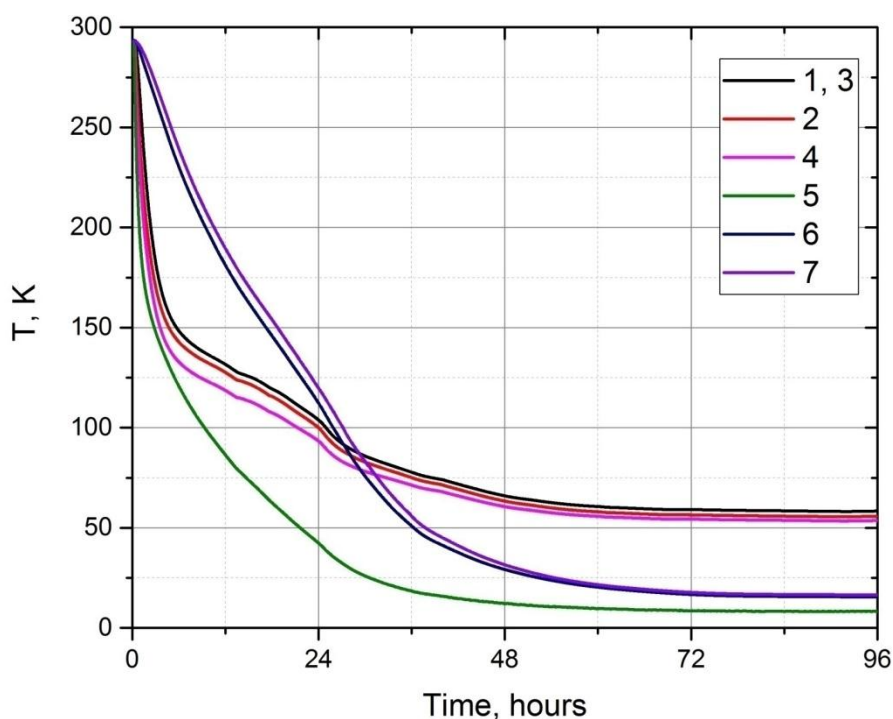


Рис. 4.4. Графики температуры различных частей криостата в зависимости от времени. Температура магнита - 6,7; температура теплых концов ВТСП токовводов – 1, 3; температура второй ступени криорефрижератора – 5, температура первой ступени криорефрижератора – 2, 4.

При выполнении пуско-наладочных работ совместно с румынскими коллегами были проведены повторные эксперименты, в которых была обнаружена деградация свойств ленты в одной из катушек магнита, что проявилось в уменьшении величины критического тока и, соответственно, магнитного поля. Для установления причин обнаруженного эффекта были проведены дополнительные исследования, которые показали, что наиболее вероятной причиной является несоответствие реальных характеристик ленты характеристикам, заявленным поставщиком.

В настоящее время ведутся переговоры с поставщиком ленты российской фирмой «Суперокс» с целью выяснения причин деградации ленты и устранения возникших проблем.

В 2015/16 гг. были выполнены работы по оснащению спектрометра ДИН-2ПИ криостатом с криорефрижератором замкнутого цикла на основе пульсационных труб. Проведены испытания криостата. На **Рис.4.5** показана фотография криостата в шахте спектрометра, а на **Рис.4.6** представлены температурные зависимости камеры образца и второй ступени криорефрижератора в зависимости от времени в процессе регулировки температуры.



Рис. 4.5. Фотография криостата с криорефрижератором в шахте спектрометра ДИН-2ПИ.

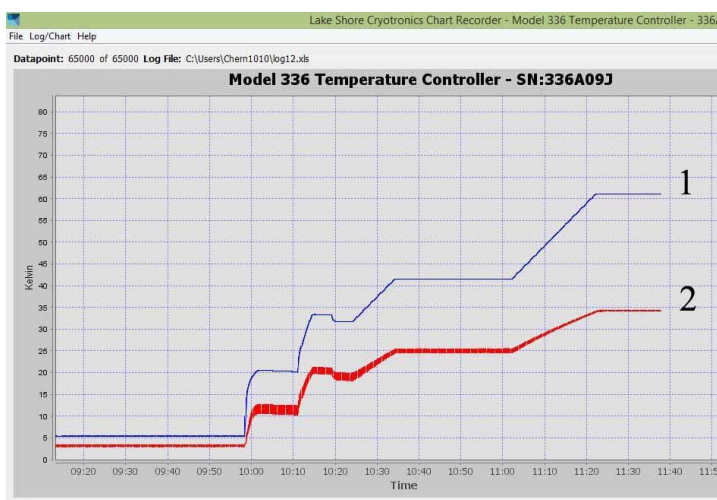


Рис.4.6. Зависимость температуры камеры образца от времени в процессе регулировки температуры: 1 – температура камеры образца, 2 – температура второй ступени криорефрижератора.

Проводились работы по выделению газовой фракции из газообразного гелия холодного замедлителя из мезителена после работы реактора в течение 10 дней. Для этого была собрана установка с криорефрижератором замкнутого цикла, в которой охлаждалась камера с сорбентом для поглощения водорода, присутствующего в гелии после разложения мезителена в потоке нейтронов. В результате эксперимента установлено, что

содержание побочной газовой фракции в гелии составляет на конец реакторного цикла с холодными нейтронами не менее 5%.

Введены в эксплуатацию вакуумные системы зеркальных нейтроноводов на 13-м и 9-м каналах ИБР-2.

5. Детекторы и электроника.

На дифрактометре ДН-6 в 2015 г. введен в эксплуатацию новый кольцевой детектор нейтронов, предназначенный для регистрации спектров нейтронов при угле рассеяния 90° . Детектор состоит из 16 секций по 6 независимых детекторных элементов (гелиевых пропорциональных счетчиков) с фоновой защитой и коллимацией. Для этого детектора были разработаны и изготовлены зарядо-чувствительные предусилители (96 каналов), три блока 32-х канальных амплитудных дискриминаторов и 192-х канальный цифровой блок сбора и накопления данных (MPD). Выполнены комплексная настройка электроники и проверка всей аппаратуры вместе с программным обеспечением дифрактометра. Действующий многосекционный кольцевой детектор, перемещенный на угол рассеяния 45° , и новый детектор объединены в единую измерительную систему (Рис.5.1)

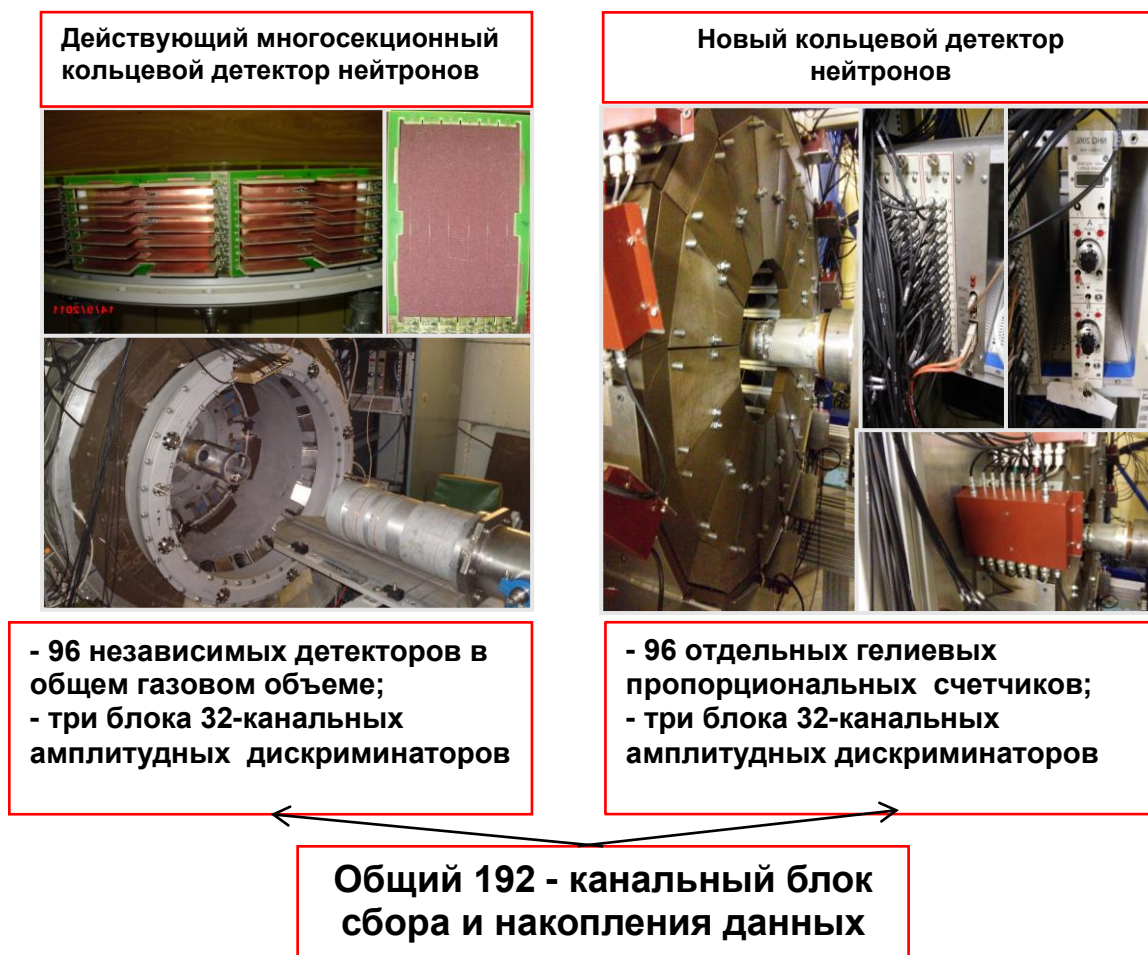


Рис.5.1. Новая детекторная система дифрактометра ДН-6.

В 2016 г. была разработана конструкция нового кольцевого газового детектора для регистрации малоуглового рассеяния тепловых нейтронов на дифрактометре RTD. Фотографии элементов детектора представлены на **Рис.5.2**.



Рис.5.2. Фотографии корпуса, внутренней части детектора и 9 независимых коаксиальных колец.

Конструктивно детектор разделён на 9 независимых эквидистантных коаксиальных колец. Катоды каждого из колец разделены на 16 независимых секторов. Съём сигналов производится с анодных нитей (общие для каждого отдельного кольца) и с каждого из 16-ти катодов. По существу, мы имеем детекторную систему, состоящую из 144 независимых детекторов. Для устранения влияния импульсных наводок и снижения уровня электронных шумов предусилители детекторных элементов располагаются внутри газового объема.

Платы аналоговой электроники (144 измерительных канала) и механические узлы детектора изготовлены в НПО «АТОМ». Цифровая электроника сбора и накопления данных базируется на разработанных ранее в ЛНФ унифицированных блоках МРД. В течении 2016-2017г. осуществляется сборка элементов детектора и его тестирование.

Завершение тестирования и ввод в эксплуатацию детекторной системы состоится в конце 2017г.

Завершены настройка и передача в опытную эксплуатацию разработанного в ЛНФ спектрометра на базе телескопа протонов отдачи (ПТ), разработана электроника и программное обеспечение для него. Прибор предназначен для экспериментальных исследований энергетических распределений потоков быстрых нейтронов. Определение энергии нейтронов осуществляется путем измерения кинетической энергии упруго рассеянных на малые углы протонов отдачи в результате (n,p)-взаимодействия в газовой водородосодержащей среде. Детальное описание ПТ содержится в патенте ОИЯИ <http://www.freepatent.ru/images/patents/13/2445649/patent-2445649.pdf>.

В 2016 г. прибор был отправлен в соответствии с протоколом о сотрудничестве №4519-4-15/17 от 15.06.2015 г. в Национальный институт исследований ядерного синтеза (Тэджон, Республика Корея) для исследования характеристик (в первую очередь, температуры плазмы в реакции $D(d,n)^3He$) и диагностики термоядерного реактора KSTAR (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research fusion reactor). Получены и

обработаны первые физические данные. В 2017 году планируется продолжение работ с целью улучшения энергетического разрешения и обеспечения возможности работы в широком диапазоне энергий нейтронов. Фотография электродной системы спектрометра приведена на **Рис.5.3**, а на **Рис.5.4** фотография спектрометра на установке KSTAR.



Рис.5.3. Корпус и электродная система телескопа протонов отдачи.

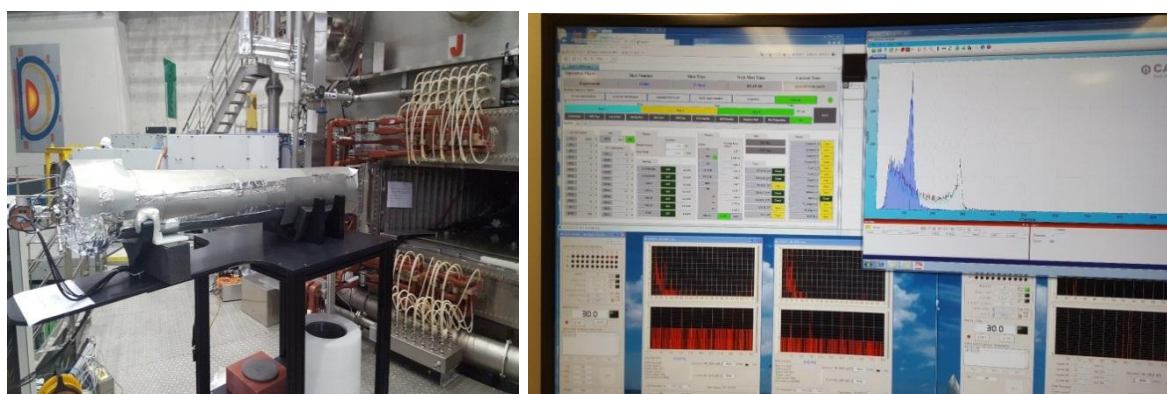


Рис. 5.4. Спектрометр на базе телескопа протонов отдачи на установке KSTAR .

Введен в эксплуатацию новый двухкоординатный позиционно-чувствительный детектор (2Д ПЧД) тепловых нейтронов на спектрометре РЕМУР. На этой установке проведены также работы по определению причин появления высокочастотных наводок, найден их источник — магнит спин-флиппера и предложены рекомендации по устранению наводок. На **Рис.5.5** показаны 2Д ПЧД на спектрометре РЕМУР и результаты измерений. Аналогичные детекторы введены в эксплуатацию на спектрометрах RTD и РЕФЛЕКС. В 2017 году планируется оснастить спектрометры реактора ИБР-2М еще 2-мя детекторами данного типа.

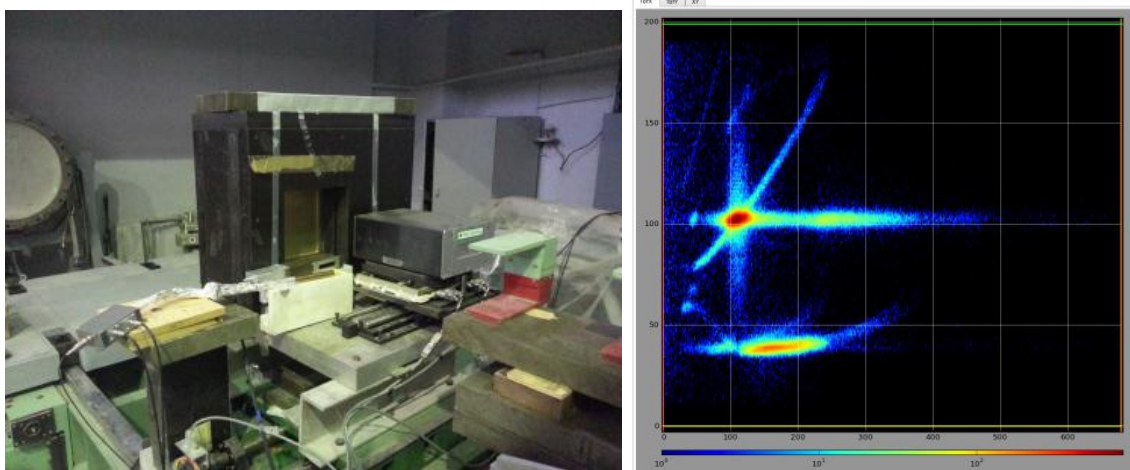


Рис.5.5. Двухкоординатный ПЧД на спектрометре РЕМУР (справа - результаты измерений).

Выполнен ряд методических работ, направленных на увеличение срока службы ПЧД и оптимизацию газовой смеси при работе в прямых пучках. В рамках совместных работ по проекту ESS (Лунд, Швеция) разработан прототип ПЧД на основе многопроволочной пропорциональной камеры с конвертером из ^{10}B (Рис.5.6, Рис.5.7), проведены его испытания. Исследования по улучшению координатного разрешения прототипа выполнялись в 2017 году, получено координатное разрешение 0.9 мм по оси X.

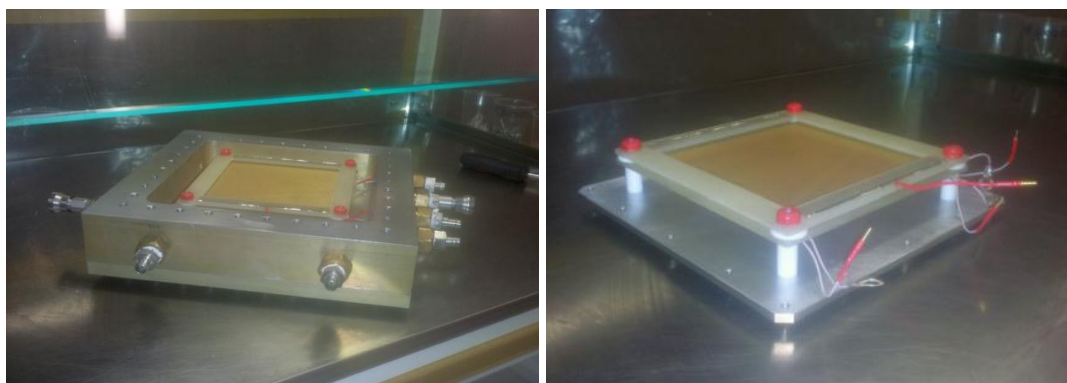


Рис.5.6. Прототип ПЧД с конвертером ^{10}B . (справа — электродная система прототипа).

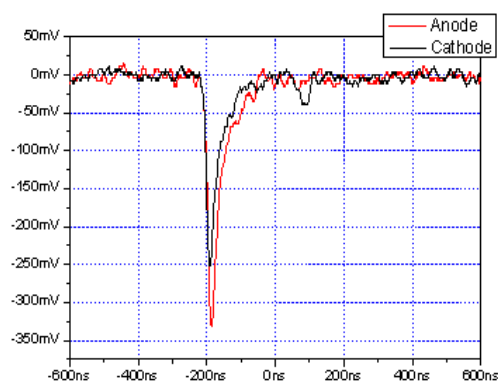


Рис.5.7. Форма анодного и катодного сигналов (заполнение - 1 атм. CF_4).

В 2015 году были завершены работы по изготовлению и вводу в эксплуатацию на дифрактометре ФСД сцинтилляционных счётчиков четвёртой секции детектора АСТРА

(Рис 5.8, Рис. 5.9). В процессе этих работ были предложены новая конструкция счетчиков и более удобная схема их размещения в детекторе. Новая конструкция позволяет значительно сократить требуемые для изготовления детектора материальные и трудовые ресурсы. В 2016 году были проведены необходимые расчёты геометрии детектора и его оптимизация с целью максимальной унификации элементов. На Рис.5.10 приведена трёхмерная модель одной из плоскостей нового детектора АСТРА-М, а на Рис.5.11 показано их расположение в детекторе. Разработан технический проект детекторной системы АСТРА-М и начаты работы по изготовлению ее элементов. На 2018 год запланированы установка системы на спектрометр ФСД и первые тестовые измерения.

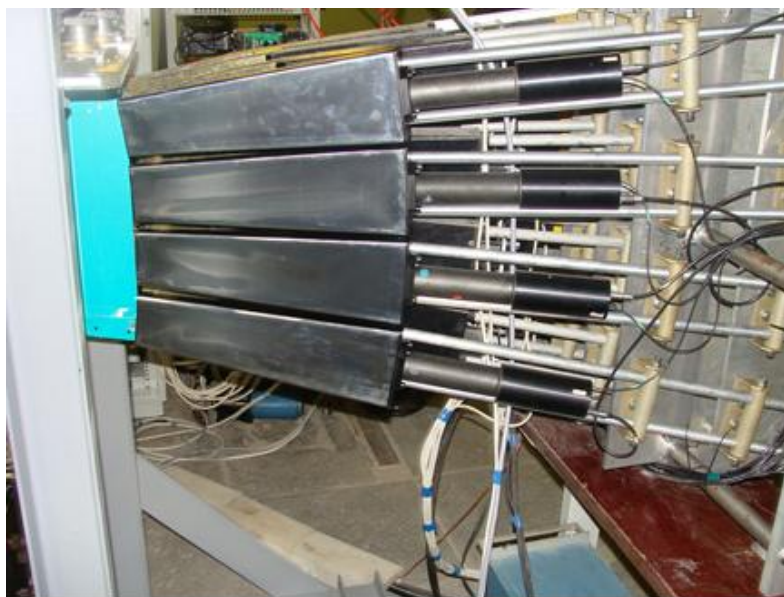


Рис.5.8.Сцинтиляционные счетчики 4 секции детектора АСТРА, установленные на дифрактометре ФСД.

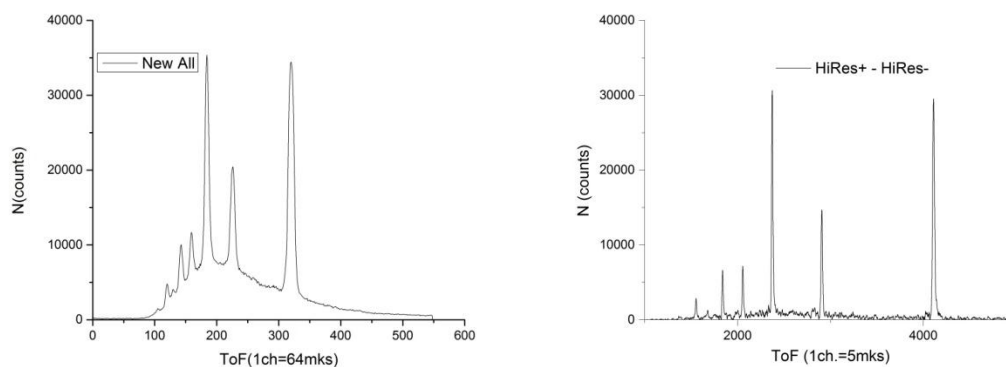


Рис.5.9.. Измерения на дифрактометре ФСД. Спектры низкого (слева) и высокого(справа) разрешения, полученные с 4 секции детектора АСТРА.



Рис.5.10. Трёхмерная модель одной из плоскостей нового детектора АСТРА-М.

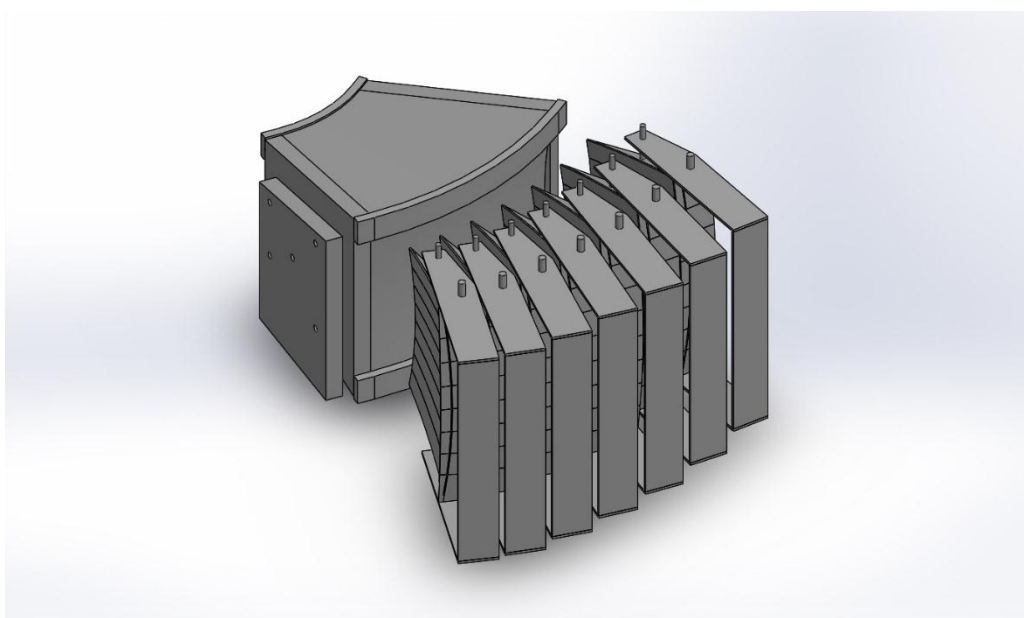


Рис.5.11. Трёхмерный вид левого плеча детектора АСТРА-М.

Разработано техническое задание и подготовлен проект создания широкоапертурного сцинтилляционного детектора обратного рассеяния для дифрактометра ФДВР (проект представляется на данной сессии ПКК и будет выполняться в рамках продленной темы 1122).

По запросам экспериментаторов с помощью мониторингового ПЧД проведены измерения профилей нейтронных пучков на 1, 5, 9, 10 и 13 каналах реактора ИБР-2.

Проводится улучшение инфраструктуры для разработки и создания детекторов нейтронов. Подготовлен заказ на модернизацию чистого помещения для сборки детекторов, увеличивается его площадь повышается класс чистоты, что позволит выполнять работы с детекторами большего размера.

Все описанные выше детекторы оснащены разработанными в ЛНФ унифицированными блоками аналоговой и цифровой электроники и программным обеспечением. Цифровые системы сбора данных состоят из двух основных модулей

электроники (Delidaq 1,2 и MPD), один из которых обрабатывает и накапливает данные с одно- и двухкоординатных позиционно-чувствительных детекторов, а другой – с массива точечных детекторов (газовые и сцинтилляционные счетчики). Все параметры модулей программируются. Новые системы позволяют работать как в режиме гистограммирования, так и в режиме накопления сырых данных- ListMode (с последующей офф-лайн обработкой).

В 2016- 2017 гг выполняются методические работы по исследованию возможности использования многоканальных диджитайзеров для сбора данных с 1Д и 2Д ПЧД.

6. Системы контроля и управления исполнительными механизмами, оборудованием окружения образца и прерывателями спектрометров

За отчетный период выполнен большой объем работ по модернизации исполнительных механизмов спектрометров ИБР-2, прерывателей пучков нейтронов, систем регулирования температуры образцов, а также систем управления этими устройствами.

6.1. Системы управления исполнительными механизмами.

Благодаря унифицированной структуре систем управления исполнительными механизмами спектрометров ИБР-2, включение в их состав новых устройств существенно упрощается:

- в систему управления устанавливается дополнительный контроллер или датчик, которому присваивается очередной номер;
- в программном обеспечении системы задаются параметры новых устройств.

На **рис.6.1.** представлена система управления исполнительными механизмами спектрометра РЕМУР на 32 канала управления.

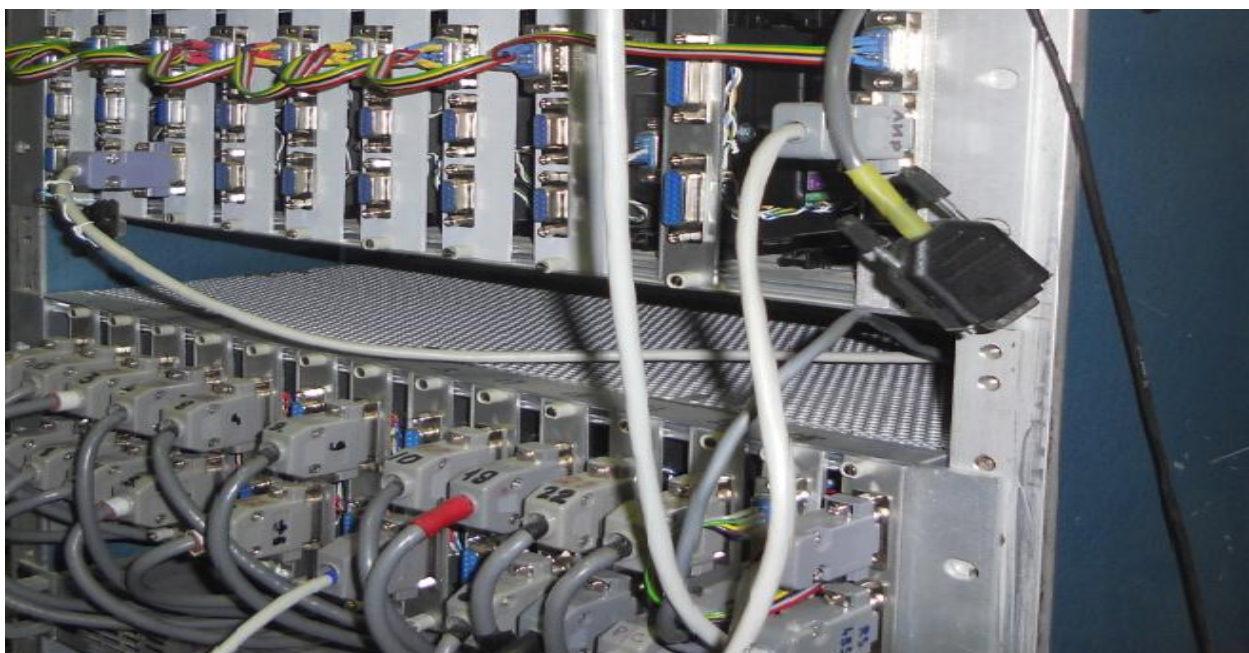


Рис6.1. Система управления исполнительными механизмами спектрометра РЕМУР на 32 канала управления.

Унифицированы также применяемые в системах контроллеры управления шаговыми двигателями и абсолютные многооборотные угловые датчики. Все это позволило сократить сроки модернизации систем автоматизации спектрометров и сделало их более технологичными и удобными в эксплуатации.

На спектрометре РЕМУР и газгольdere системы контроля холодного замедлителя КЗ-202 нашли применение датчики линейных перемещений (0-2м) тросикового типа на основе абсолютных угловых многооборотных датчиков. Интерфейс SSI обеспечил их включение в унифицированную систему управления.

На спектрометре ЮМО автоматизированы: устройство смены до 25 образцов (Рис.6.2.) и юстировка детектора в горизонтальном и вертикальном направлениях для точной его установки относительно пучка на всем 10-метровом пути перемещения (Рис.6.3.).

На новом дифрактометре FSS автоматизирован гониометр Huber, обеспечивающий юстировку образца по координатам x , y , z и вращение вокруг вертикальной оси (Рис.6.4.).

Число каналов управления на каждом из спектрометров ГРЕЙНС, ЭПСИЛОН, ЮМО и РЕФЛЕКС превысило 32, а их общее количество на спектрометрах ИБР-2 – более двухсот.

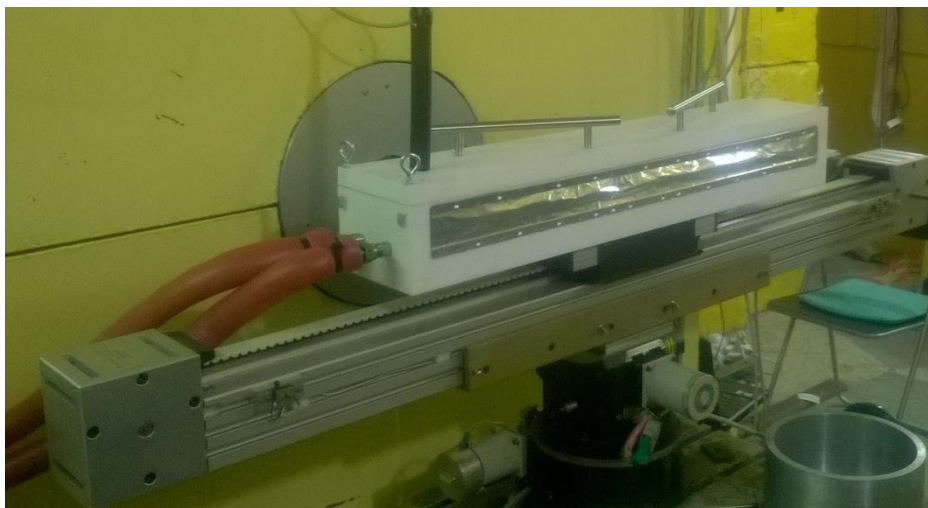


Рис.6.2. Устройство автоматической смены образцов на спектрометре ЮМО (емкость кассеты – 25 образцов).

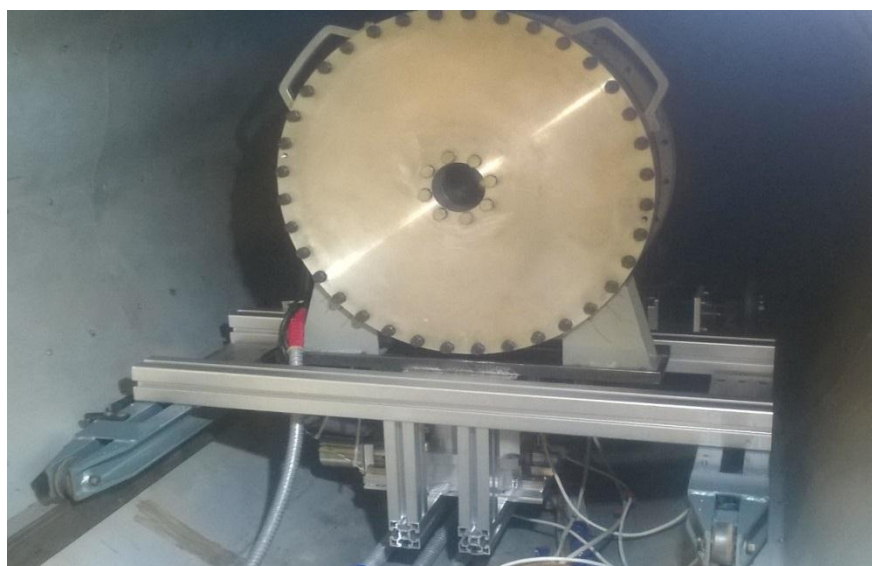


Рис.6.3. Платформа с детектором, юстируемым в горизонтальном и вертикальном направлениях.



Рис.6.4. Гониометр Huber спектрометра FSS.

6.2. Системы контроля параметров спектрометров.

На всех спектрометрах проведена модернизация систем контроля параметров экспериментальной установки, а также связи с контроллерами отдельных параметров спектрометра. Разработана унифицированная коммуникационная панель спектрометра, которая обеспечивает:

- подключение до 5 устройств по интерфейсу RS485 или RS232;
- контроль за 4-мя релейными сигналами о состоянии установки;
- подключение до 10 приборов по интерфейсу USB;
- гальваническую развязку компьютера и приборов контроля.

Волоконно-оптический удлинитель интерфейса USB длиной 30м позволил вынести коммуникационную панель системы контроля экспериментальной установки (**Рис.6.5.**) в зону, близко расположенную к образцу.



Рис.6.5. Система контроля состояния установки на базе преобразователей интерфейсов AC4 (USB-RS485) и AC3-M (RS485-RS232).

6.3. Системы регулирования температуры.

При модернизации систем регулирования температуры образца проводилась замена контроллеров «Евротерм 902» и «Евротерм 906» на контроллеры «LakeShore 325» и «LakeShore 336». Последние ориентированы на использование в криогенных системах с датчиками DT670. Однако, для унификации и программной совместимости при модернизации систем регулирования температуры в диапазоне 0-1000° использованы эти же контроллеры, но с термопарами типа К.

Введены в эксплуатацию системы регулирования температуры на основе контроллеров «LakeShore» на спектрометрах ФСД, ФДВР, НЕРА-ПП, RTD и РЕМУР. На **Рис.6.6.** показаны модернизированные температурные контроллеры с преобразователями интерфейсов AC4 (USB-RS485) и AC3M (RS485-RS232), установленными на корпусе прибора. Проведена также модернизация температурных контроллеров LakeShore 218, обеспечивающих сбор показаний с 8 датчиков DT670 и связь с PC по USB.



Рис.6.6. Контроллеры LS325 после модернизации.

6.4. Системы управления прерывателями спектрометров.

На спектрометрах ИБР-2 продолжались работы по модернизации прерывателей и их систем управления, в частности, на спектрометре РЕФЛЕКС введен в эксплуатацию новый прерыватель барабанного типа на базе асинхронного двигателя 2,2кВт (**Рис.6.7.**) с унифицированным частотным приводом VFAS1-4022.

Разработан и установлен на прерывателе датчик окна на основе магнита и геркона МКА-10110, что позволило использовать его в кольцевом коридоре ИБР-2. Точность фазировки прерывателя составляет +/- 150 мксек.



Рис. 6.7. Новый прерыватель барабанного типа на спектрометре РЕФЛЕКС.

Смонтирована и введена в опытную эксплуатацию система контроля и управления фурье-прерывателем на спектрометре FSS и начата опытная эксплуатация на дифрактометре ФДВР новой системы контроля и управления фурье-прерывателем (Рис.6.8), разработанная венгерской фирмой Mirratron.

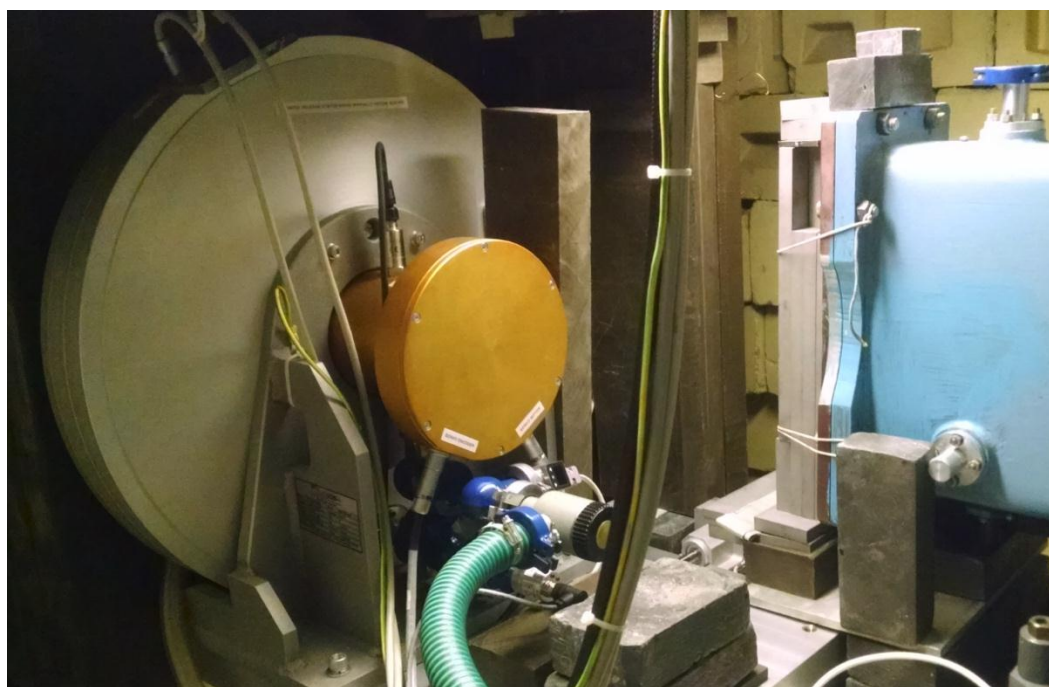


Рис.6.8. Фурье-прерыватель на дифрактометре ФДВР.

7. Программное обеспечение спектрометров.

В отчетный период продолжались работы по развитию **инструментального комплекса Sonix+**, в котором многие компоненты были дополнены по просьбе пользователей или усовершенствованы на основе опыта эксплуатации. Среди наиболее существенных можно отметить:

- разработку новых компонентов для управления оборудованием ряда спектрометров (РТД, РЕМУР, ГРЕЙНС, ДН6, ФДВР, ФСД, FSS);
- дополнение базового набора виджетов и усовершенствование программ графического интерфейса (**Рис.7.1**);
- разработку новой версии библиотеки операций для рефлектометров, в которой предварительная обработка данных ведется одновременно с продолжением экспозиции (один из примеров показан на **Рис.7.2**).

На спектрометрах ДН6 и ДН12 установлена общая для всех спектрометров версия пользовательского интерфейса. Подготовлена к практической проверке версия Sonix+ для дифрактометра FSS.

Разработана и введена в эксплуатацию улучшенная версия системы удаленного слежения за ходом эксперимента **WebSonix, версия 4.7 (Рис.7.3)**. К этому сервису подключены восемь спектрометров (ЮМО, ФДВР, ФСД, СКАТ, НЕРА-ПР, ЭПСИЛОН, ДИН-2ПИ, РЕФЛЕКС).

Проведена отладка и введена в опытную эксплуатацию **программа Journal** на спектрометрах ГРЕЙНС и ФДВР.

Разработаны программы контроля состояния холодного замедлителя КЗ-201 и новый графический интерфейс (**Рис. 7.4**).

Продолжалась разработка программных средств отладки и тестирования цифровой электроники систем сбора данных.

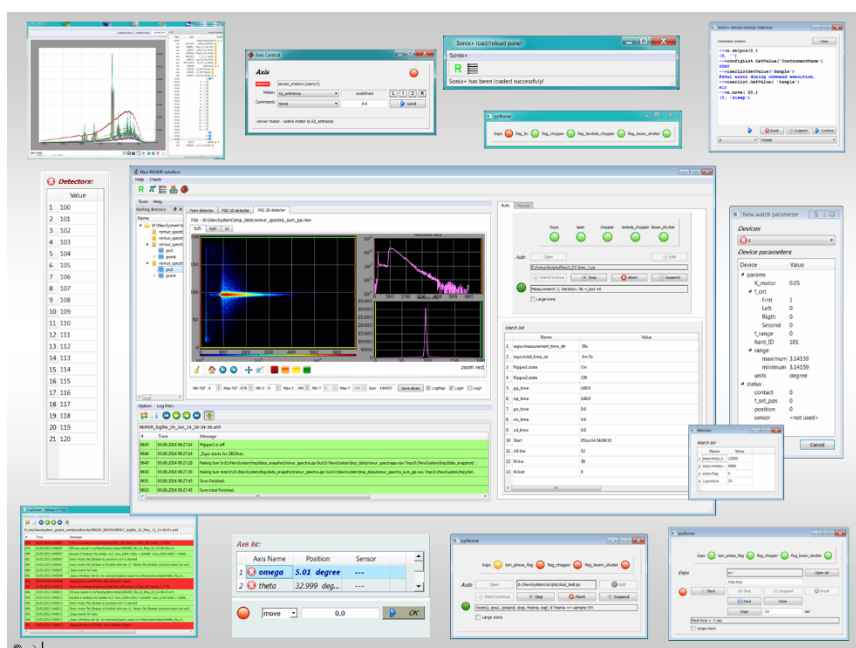


Рис.7.1. Унифицированный пользовательский интерфейс комплекса Sonix+ вместе с базовым набором виджетов.

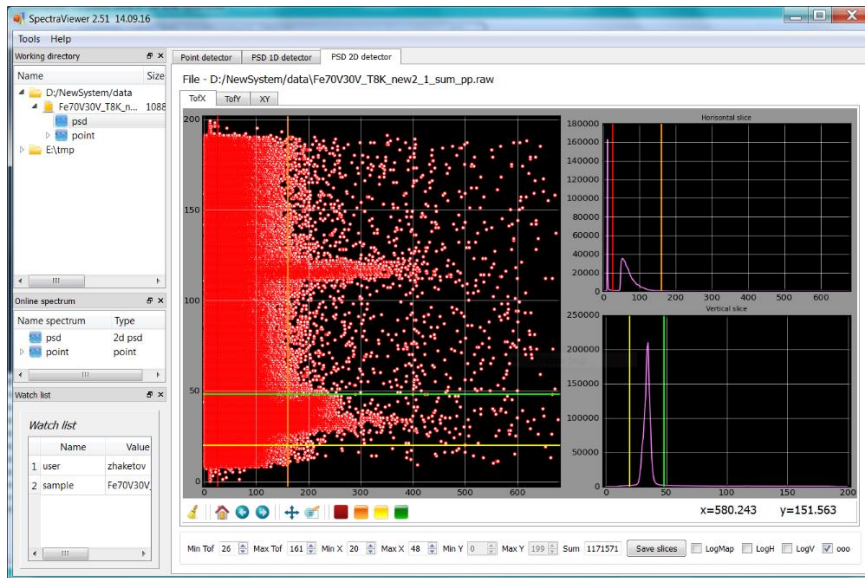


Рис.7.2. Новый режим программы SpectraViewer для облегчения визуального поиска отраженного пучка при настройке рефлектометров.

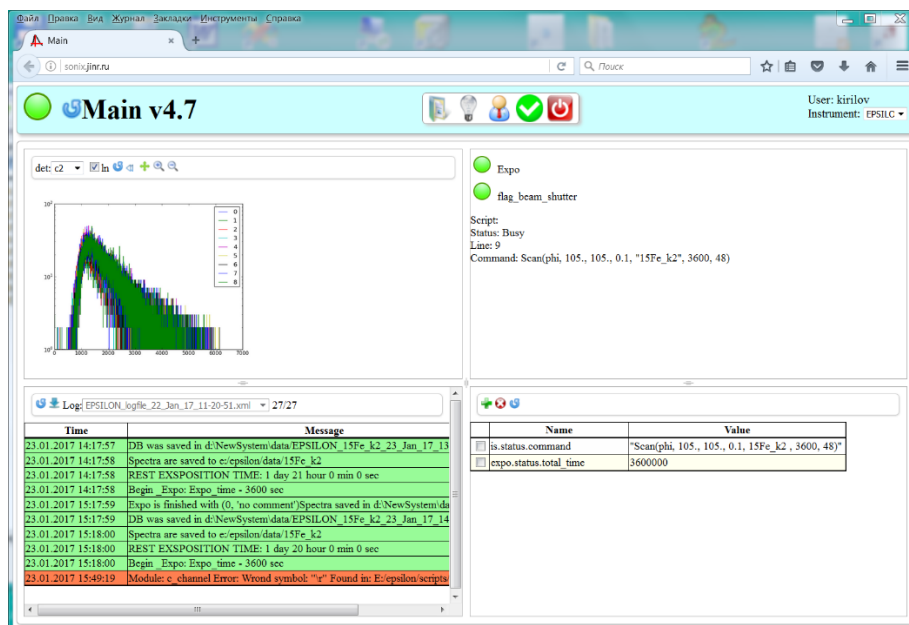


Рис.7.3. Главное окно новой версии сервиса WebSopix на примере спектрометра ЭПСИЛОН.

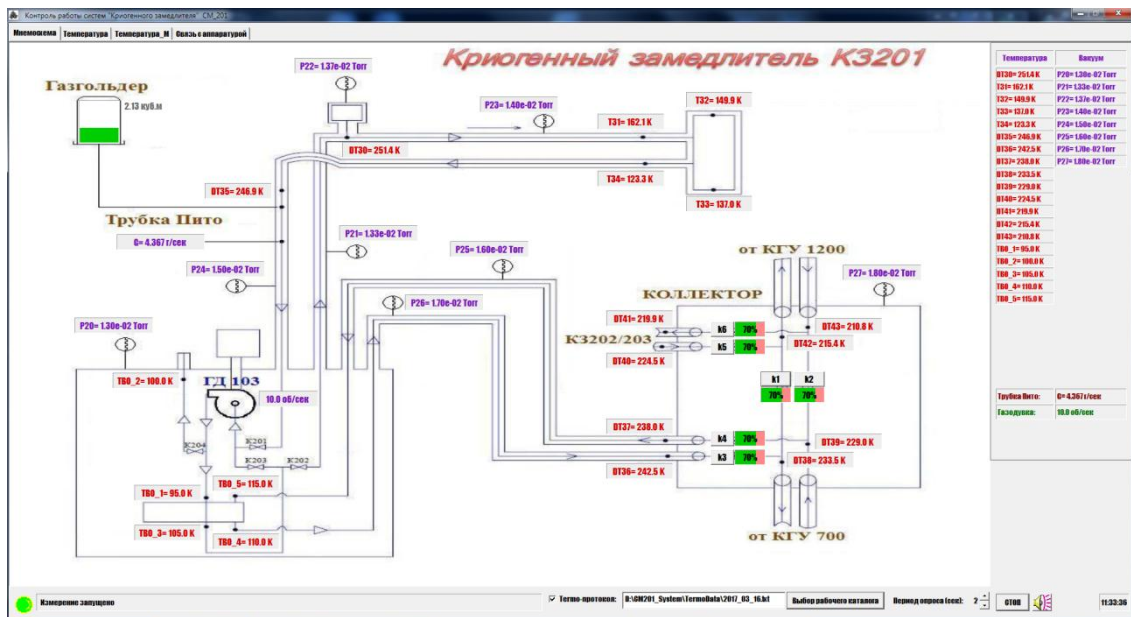


Рис.7.4. Новый графический интерфейс холодного замедлителя К3-201.

8. Локальная вычислительная сеть ЛНФ:

В локальной вычислительной сети (ЛВС) увеличено количество точек доступа WiFi в зданиях 42, 44 и 117. Создание точек доступа в некоторых реакторных помещениях ИБР-2 технически трудновыполнимо и временно отложено. Маршрутизаторы в здании управления реактором и в экспериментальном зале № 1 (здание 117) переведены на скорость передачи данных 10 Гбит/сек.

Проведена замена устаревших сетевых коммутаторов в зданиях 42 и 42а ЛНФ с целью обеспечения скорости передачи данных 1Гбит/сек для всех конечных пользователей в офисах физиков и дирекции Лаборатории.

До последнего времени физики накапливали и сохраняли экспериментальные данные на управляющих компьютерах спектрометров. Передача данных на центральный сервер Лаборатории выполнялась каждым пользователем вручную по мере надобности. При этом существовала опасность случайного стирания данных, сбоев в сети, потерь при выходе из строя дисков и т.п. Для устранения этих проблем было организовано **централизованное сетевое хранилище данных** на базе файлового сервера на платформе Supermicro с двумя CPU Intel Xeon, оперативной памятью 16 Гбайт и дисковой памятью 72 Тбайта (характеристики и программное обеспечение сервера приведены в отчетах по теме за 2014 и 2015гг.). В течение длительного времени проводилась опытная эксплуатация централизованного сетевого хранилища данных, по результатам которой были приняты следующие решения:

- в качестве операционной системы выбрана свободная в распространении **CentOS 7**, зарекомендовавшая себя как отказоустойчивая и высокопроизводительная ОС;
- диски сервера объединены в аппаратный массив RAID 6, на основе SAS RAID контроллера, что позволило сохранить работоспособность сервера при потере до 2-х дисков.

Хранилище обеспечивает автоматическую передачу данных с управляющего компьютера в файловый сервер в ходе эксперимента. Емкость хранилища вполне достаточна для записи и хранения данных со всех спектрометров ИБР-2.

Выполнена инсталляция резервного сервера ЛВС nfserv-d (центральный процессор E5-2650 V3 (2 x 10 core); оперативная память 64 Гбайт; дисковая память 12 Тбайт), на котором установлена операционная система Linux. Сервер сдан в опытную эксплуатацию и используется для решения вычислительных задач. На нем также ведутся методические работы по повышению надежности и производительности серверов ЛВС.

На **Рис.8.1** приведена текущая конфигурация локальной вычислительной сети, а на **Рис.8.2** показана фотография серверов и коммуникационного оборудования центрального вычислительного комплекса (ЦВК) ЛНФ.

Предварительная обработка сырых данных. Если накопление ведется в режиме List-mode, то объем данных может достигать нескольких Тбайт и их предварительная обработка (например, временная фокусировка нейтронов, вычисление кросскорреляционной функции между интенсивностью зарегистрированных детектором нейтронов и последовательностью задержанных функций модуляции нейтронного потока от импульсного реактора и прерывателя и восстановление спектров высокого разрешения из исходных дифракционных данных, полученных на фурье-дифрактометрах) может потребовать длительного времени (несколько часов).

Для ускорения процесса обработки в НЭО НИКС ЛНФ были разработаны быстродействующий алгоритм вычисления кросскорреляционной функции и программы распараллеливания счета на нескольких процессорах, что позволило кратно уменьшить время обработки. Другой способ ускорения вычислений — это применение вычислительных узлов с графическими процессорами (например, графический ускоритель GPU NVIDIA может обеспечить 10-кратное ускорение). Такую параллельную обработку данных можно организовать в рамках отдельных физических групп или на центральных вычислительных серверах ЛНФ, но мы не сможем обеспечить их нормальную загрузку, поэтому представляется целесообразным использовать имеющиеся вычислительные ресурсы ЛИТ ОИЯИ: гетерогенный кластер "HybriLIT" (<http://hybrilit.jinr.ru/>) и облачные сервисы (<https://cloud.jinr.ru/>).

Оба указанных ресурса могут быть также использованы в расчетных задачах и задачах моделирования, в частности, с применением метода Монте-Карло. Эффективность их использования будет зависеть от того, насколько удастся распараллелить расчеты.

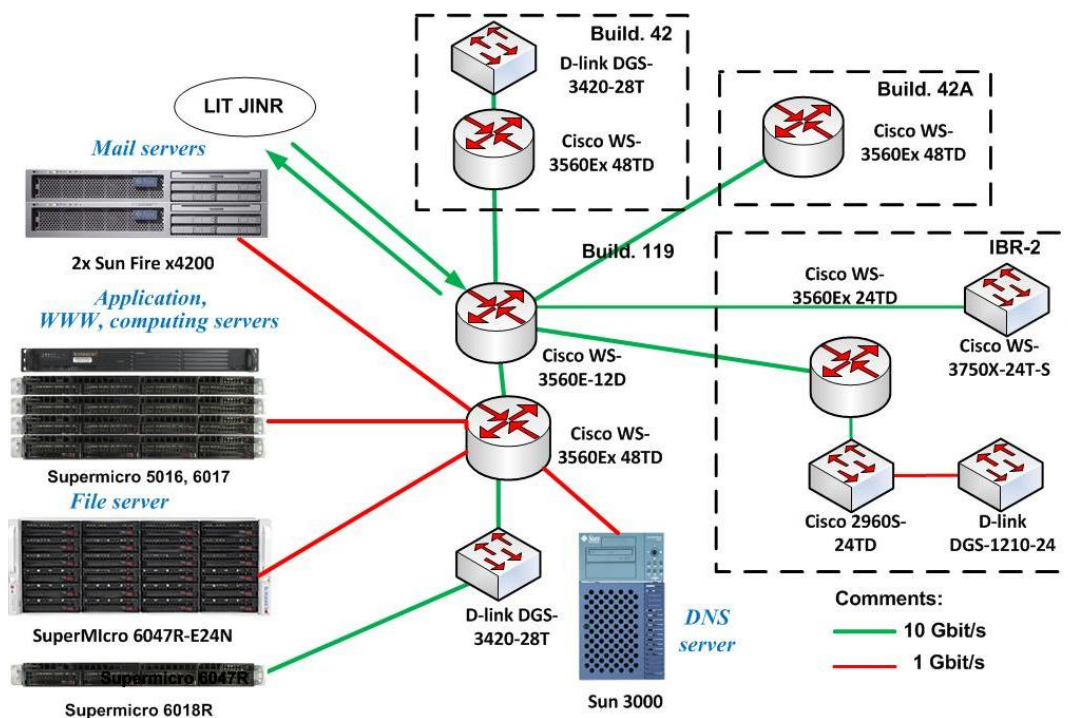


Рис.8.1 Локальная вычислительная сеть ЛНФ в 2017 году.



Рис.8.2. Центральный вычислительный комплекс ЛНФ.

Таким образом, основные задачи, поставленные при открытии темы 1122, успешно выполнены.

За период выполнения темы с 01.01.2015 г. по 01.05.2017 г. опубликовано 30 статей в профильных журналах и свыше 20 докладов на конференциях и рабочих совещаниях.

Начиная с 2010 г., в Дубне по тематике отдела ежегодно проводится **Всероссийская молодежная школа «Приборы и методы экспериментальной ядерной физики. Электроника и автоматика экспериментальных установок»**. Основные цели школы: познакомить молодых ученых, студентов и аспирантов с современным состоянием приборной и методической базы для проведения экспериментов с помощью нейтронов; выявить проблемы и тенденции развития компонентной и приборной базы для создания современных экспериментальных установок; показать и обсудить возможности Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка по организации прохождения преддипломных практик, подготовки дипломных работ, зачисления в соискатели ОИЯИ и дальнейшего трудоустройства в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка по направлениям Школы.



Общая фотография участников 7-й Школы (7-11 ноября 2016 г.).

Циклы работ **«Создание шарикового холодного замедлителя нейтронов на реакторе ИБР-2»** и **«Разработка газовых детекторов для нейтронных исследований»**, выполненные в рамках темы 1122, были удостоены вторых премий на конкурсе работ ОИЯИ в 2015 г. и в 2016 г. Защищена докторская (Куликов С.А.) и подготовлена к защите кандидатская (Булавин М.В.) диссертации.

Часть 2

Научно-техническое обоснование на продление темы «Развитие экспериментальной базы для проведения исследований конденсированных сред на пучках ИЯУ ИБР-2» и проекта "Разработка ДТМ - системы окружения образца для дифрактометра ДН-12 на ИЯУ ИБР-2" на 2018-2020 гг.

Шифр темы: 04-4-1122-2015/2020

Лаборатория: ЛНФ имени И.М. Франка

Отделение: ОНИРКС

Отдел: НЭОКС ИБР-2

Направление: «Физика конденсированных сред (04)»

Наименование темы: «Развитие экспериментальной базы для проведения исследований конденсированных сред на пучках ИЯУ ИБР-2»

Руководители темы: С.А. Куликов, В.И. Приходько

Краткая аннотация:

Как видно из отчета по теме, в 2015/17 гг. по всем направлениям методических исследований и разработок достигнут существенный прогресс и получены заделы на будущее, что имеет ключевое значение для успешной реализации программы развития комплекса спектрометров ИЯУ ИБР-2 и проведения исследований конденсированных сред. Все эти направления включены в Семилетний план развития ОИЯИ на 2017-2023 годы, поэтому **предлагается продлить данную тему на период 2018-2020 гг.** Представлен также отчет по проекту "Разработка ДТМ - системы окружения образца для дифрактометра ДН-12 на ИЯУ ИБР-2" со сроком завершения в 2017 г., при выполнении которого во время пуско-наладочных работ и испытаний магнита обнаружилась деградация высокотемпературной сверхпроводящей ленты YBCuO. Это привело к необходимости уменьшения тока в обмотке и к соответствующему снижению магнитного поля, что не позволило достичь проектных параметров по критическому току. В настоящее время ведутся переговоры с поставщиком ленты российской фирмой «Суперокс» с целью выяснения причин деградации ленты, замены ленты и устранения возникших проблем. При этом, даже если фирма признает брак ленты и согласится на ее замену, потребуется минимум год на поставку ленты, изготовление новых катушек, монтаж, проведение испытаний и др. работ. В этой связи **представляется целесообразным вместе с темой продлить и данный проект.**

Коллектив сотрудников отдела НЭОКС ИБР-2, участвующий в выполнении работ по теме и проекту, имеет высокую квалификацию и большой опыт международного

сотрудничества. Персонал отдела в количестве 49 человек разделен на 6 тематических групп, которые формируют структуру отдела. Членами персонала отдела являются: 17 научных сотрудников, 20 инженеров и 12 рабочих и лаборантов. В отделе работают 8 кандидатов и 1 доктор наук, 14 сотрудников отдела относятся к категории молодых ученых и специалистов. Данный состав отдела достаточен для выполнения задач по теме.

Совершенствование методики измерений, рост числа управляемых и контролируемых параметров, увеличение количества и усложнение используемых в эксперименте детекторов и систем окружения образца, повышение требований к точности и быстродействию регистрирующей аппаратуры, необходимость обеспечения удаленного управления подсистемами спектрометра и экспериментом в целом, требуют постоянного развития, как самих спектрометров, так и исследовательской ядерной установки ИБР-2, в частности, комплекса холодных замедлителей.

Пользовательский режим работы спектрометров ИБР-2 выдвигает дополнительные требования к оборудованию спектрометров, системам управления и контроля, а также к системам сбора данных: простота освоения и работы, удобный графический интерфейс, доступ к результатам измерений по Интернету и др.

Удовлетворение этих требований является главной целью работ по завершаемой в 2017 г. теме и остается таковой для коллектива отдела НЭОКС ИБР-2 при ее продлении. Предстоящие работы являются естественным продолжением работ, выполненных в 2015-2017 гг.

Отметим некоторые важные особенности как выполненных, так и предстоящих работ:

- **К настоящему времени наработан определенный опыт эксплуатации холодного замедлителя КЗ-202** в направлении пучков №7,8,10,11. Он является первым и единственным в мире замедлителем, где замедляющее вещество состоит из твердого мезитилена (смеси мезитилена и м-ксилола) в форме шариков, а их загрузка в камеру замедлителя производится посредством циркулирующего в контуре газообразного гелия. В состав **КЗ-202** входят уникальные устройства и разработки, примененные впервые. К таким устройствам можно отнести дозатор шариков, систему подачи шариков с помощью гелия, систему контроля расхода гелия в системе, систему контроля затора шариков. Для нового замедлителя КЗ-201 в направлении пучков № 1,4,5,6,9 разработка и создание системы загрузки шариков, а также системы управления и контроля замедлителя оказались более трудной задачей, так как потребовалось обеспечить непрерывный подъем шариков потоком гелия в камеру замедлителя на высоту порядка 4 метров при угле наклона 50 градусов, но эта задача успешно решена. Начат и требует дальнейшего продолжения поиск путей увеличения времени работы шарикового холодного замедлителя на физический эксперимент. Так, например, исследован трифенилметан и проведено его сравнение с используемым в настоящее время веществом – смесью мезитилена и м-ксилола. Установлено, что радиационная стойкость трифенилметана в ~10 раз лучше, чем у смеси. Изучение выхода холодных нейтронов из трифенилметана (возможно, и других материалов) при различных температурах и сравнение результатов со смесью продолжится в рамках продленной темы.

Можно отметить также предстоящую разработку и создание разгрузочного устройства шнекового типа для замедлителя КЗ201, которое позволит выполнять непрерывную замену замедляющего вещества в камере замедлителя.

Установка комплекса криогенных замедлителей к реактору ИБР–2 позволит существенно сократить время проведения широкого ряда экспериментов за счет повышенного выхода холодных нейтронов с поверхности замедлителя, сохранить и

укрепить в ближайшей перспективе лидирующее положение ИЯУ ИБР-2 среди нейтронных источников в области физики конденсированных сред.

- Главными проблемами в создании новых систем сбора данных и систем автоматизации для нейтронных спектрометров являются надежность, стоимость, время разработки и ввода в эксплуатацию, а также возможность быстрой адаптации систем к изменениям требований эксперимента. Адаптируемость имеет принципиальное значение, т.к. обеспечивает необходимую гибкость для выполнения требований будущих экспериментов.

В многоуровневой архитектуре систем сбора данных (ССД) относительно легко поддается модификации только программное обеспечение. В практическом плане это означает, что необходимо как можно раньше начинать цифровую обработку сигналов. Именно такой подход был использован нами при создании и внедрении предыдущего поколения ССД (на базе стандарта VME) и нового поколения электронных модулей, которые подключаются непосредственно к ПК и обладают гибкостью для быстрой адаптации к любым изменениям условий эксперимента и расширению состава оборудования спектрометров. Выбранная архитектура этих систем хорошо вписывается в сетевую инфраструктуру и обеспечивает простоту и низкую стоимость их постоянной модернизации в соответствии с прогрессом в вычислительной технике и коммуникационных технологиях.

Сегодня системы сбора данных на всех спектрометрах ИБР-2 состоят из 1-2 базовых электронных модулей, один из которых – De-Li-DAQ обрабатывает и накапливает данные с одно- и двухкоординатных ПЧД, а другой – MPD – с массива точечных детекторов (газовые и сцинтилляционные счетчики). С точки зрения hardware базовые модули идентичны; задание всех параметров, режимов и алгоритмов работы, специфичных для конкретного спектрометра, реализовано на уровне микропрограмм, которые выполняются в программируемых логических матрицах (FPGA) соответствующего модуля. Все эти данные хранятся в общем конфигурационном файле компьютера спектрометра и записываются управляющей программой в FPGA при инициализации. Новые ССД-системы дают возможность работать как в режиме гистограммирования, так и режиме **накопления сырых данных**, что в ряде случаев имеет принципиальное значение.

Следует отметить, что технология изготовления современных электронных блоков довольно сложна и требует дорогостоящего оборудования, которое окупается только при серийном производстве. Поэтому сейчас мы изучаем возможность использования в ССД на спектрометрах ИБР-2 появившихся на рынке многоканальных диджитайзеров для сбора данных с 1Д и 2Д ПЧД, что является одной из задач продленной темы. Одна из целей работ по этому направлению – это достижение гармоничного сочетания измерительной и вычислительной техники.

- В экспериментах на ИЯУ ИБР-2 широко используется специальное оборудование для создания определенных условий на образце, например, температуры, давления магнитного или электрического поля и т.п., а также для перемещения и пространственной ориентации образца, а также для смены образцов. В рамках работ по теме 1122 достигнут значительный прогресс в обеспечении спектрометров ИБР-2 таким оборудованием и его стандартизации, а также в унификации систем управления и контроля. Важной особенностью новых систем является то, что все они построены по единой схеме; системы контроля и управления выполнены в виде независимого модуля, подключенного к РС через интерфейс USB; все основные элементы системы (датчики, двигатели, контроллеры управления перемещением, температурные контроллеры и др.) и их интерфейсы унифицированы. При этом везде, где это возможно, используется промышленное

оборудование. С целью эффективного использования дорогостоящего оборудования при проектировании систем окружения образца, детекторных систем и др. будут предприниматься попытки их возможного применения на нескольких спектрометрах.

В заключение несколько слов о **конкурентоспособности** работ по предлагаемой продленной теме. Работы по криогенным замедлителям являются пионерскими и, конечно, находятся вне конкуренции. Разработки криостатов и детекторных систем с электроникой и программным обеспечением соответствуют мировому уровню, об этом свидетельствуют выигранные тендеры на их поставку в ИЯФ (Ржеж, Чехия), а также их использование в НИИЯС (Тэджон, Республика Корея); HZB, Берлин, ФРГ и в несколько организаций РФ.

Проекты по теме:

1. Проект "**Разработка ДТМ - системы окружения образца для дифрактометра ДН-12 на ИЯУ ИБР-2**" продляется на 2018 – 2020 гг. На этот период планируются изготовление новых обмоток и сборка магнита, монтаж оборудования, проведение испытаний, выполнение подготовительных работ на 12-м канале ИБР-2 и ввод в эксплуатацию комбинированного горизонтально – вертикального криостата со сверхпроводящим магнитом на дифрактометре ДН-12.

2. Проект "**Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР**", руководитель проекта – **Круглов В.В.**, сроки выполнения – **2018-2020 гг.**

Работы будут вестись в соответствии с планом-графиком проекта.

Планы работ на 2018-2020 гг.:

Основными задачами темы являются развитие совместно с НЭО НИКС нейтронных методов исследования конденсированных сред, а также улучшение технических характеристик и расширение экспериментальных возможностей действующих и вновь создаваемых спектрометров реактора ИБР-2 в соответствии с семилетним планом развития ОИЯИ. Работы будут проводиться по следующим основным направлениям:

1. Холодные замедлители:

1.1. Разработка и создание элементов управления, контроля и автоматизации замедлителя КЗ-201 в направлении пучков №№ 1, 4, 5, 6, 9. Проведение пробных загрузок камеры замедлителя КЗ-201 без мощности и на мощности реактора ИБР-2. Текущая модернизация и поддержка оборудования систем комплекса замедлителей КЗ-202.

1.2. Исследование радиационной стойкости и замедляющей способности водородсодержащих материалов холодного замедлителя для продления времени его работы на физический эксперимент.

1.3. Разработка и исследование параметров работы разгрузочного устройства шнекового типа для замедлителя КЗ-201.

1.4. Изучение радиационной стойкости материалов на установке для радиационных исследований.

2. Расчеты и моделирование спектрометров:

Развитие и применение программного комплекса VITESS и других пакетов программ для моделирования нейтронного рассеяния в образцах и в отдельных компонентах спектрометров. Комплексный расчет и оптимизация спектрометров.

3. Криогеника:

3.1. Разработка проточных криостатов на базе криокулеров замкнутого цикла для экспериментов на ИБР-2. Развитие существующего криогенного стенда и его адаптация для разработки, изготовления и наладки элементов проточных криостатов.

3.2. Разработка и внедрение нового, а также поддержка существующего криогенного и вакуумного оборудования на спектрометрах ИБР-2.

4. Детекторы и электроника:

4.1. Завершение работ по изготовлению детекторной системы «Астра-М» для ФСД и вводу ее в эксплуатацию в 2018 г. Модернизация детекторной системы спектрометра НЕРА-ППР.

4.2. Разработка и изготовление элементов детектора обратного рассеяния для дифрактометра ФДВР в соответствии с планом-графиком проекта ДОР.

4.3. Разработка и изготовление элементов многодетекторной системы для дифрактометра ДН-12 и разработка новой системы сбора и накопления данных с многодетекторных систем на основе ПЧД.

4.4. Разработки прототипа детектора для малоугловых измерений, спектрометрических детекторов быстрых нейтронов, монитора пучков реактора ИБР-2 и детекторов на основе борного конвертера.

4.5. Оснащение существующей электроникой MPD и De-Li-DAQ всех детекторных систем, указанных п.п.4.1 – 4.4, и развитие инфраструктуры для создания детекторов нейтронов.

5. Системы контроля и управления исполнительными механизмами, оборудованием окружения образца и прерывателями спектрометров:

5.1. Продолжение работ по развитию систем управления исполнительными механизмами:

- модернизация исполнительных механизмов на спектрометрах ЮМО и РЕФЛЕКС;
- ввод в состав спектрометров новых механизмов по заявкам пользователей;
- оснащение спектрометра РЕМУР датчиками положения.

5.2. Совершенствование систем контроля физической установки и систем регулирования температуры:

- замена температурных контроллеров Eurotherm на Lakeshore;
- ввод новых измерительных устройств и контроллеров по заявкам ответственных за установки;

- унификация усилителей, используемых в системах регулирования температур.

5.3. Модернизация систем контроля и управления прерывателями на 11 и 13 каналах.

6. Программное обеспечение:

- 6.1. Сопровождение и развитие комплекса Sonix+ по запросам пользователей.
- 6.2. Разработка концепции организации центрального хранилища результатов измерений на ИБР-2 и ее реализация, ввод хранилища в эксплуатацию.

7. Локальная вычислительная сеть:

- 7.1. Развитие сетевой инфраструктуры ЛНФ в соответствии со стратегией развития вычислительной сети ОИЯИ.
- 7.2. Модернизация системы электропитания ЦВК ЛНФ.

В 2018-2020 гг. продолжатся совместные с НЭО НИКС работы по созданию новых спектрометров и текущей модернизации действующих установок. Эти работы будут выполняться как по ранее согласованным планам, так и по техническим заданиям физических групп.

Проекты по теме:

Название проекта	Руководитель проекта	Статус проекта (срок реализации)
1. Разработка ДТМ - системы окружения образца для дифрактометра ДН-12 на ИЯУ ИБР-2	Черников А.Н.	1 (2015-2020)
2. Разработка широкоапертурного детектора обратного рассеяния (ДОР) для дифрактометра ФДВР	Круглов В.В.	1 (2018 - 2020)

Основные этапы темы:

Этап темы или эксперимент	Руководители	Статус проекта или эксперимента
Лаборатория или другие подразделения ОИЯИ	Основные исполнители	
1. Создание и ввод в эксплуатацию системы управления и контроля замедлителя КЗ201 в направлении нейтронных пучков №1,4,5,6,9.	Куликов С.А. Шабалин Е.П.	Реализация 2018-2020
ЛНФ	Булавин М.В. + 5 инженеров, Кирилов	

	А.С. + 1 инженер, Сиротин А.П.+2 инженера, Мухин К.	
2. Расчет и моделирование элементов спектрометров. Развитие программного комплекса VITESS.	Белушкин А.В.	Реализация 2018-2020
ЛНФ	Маношин С.А., Куликов С.А. + 1	
3. Исследование радиационной стойкости материалов и электронных компонентов.	Булавин М.В. Куликов С.А.	Реализация 2018-2020
ЛНФ	Шабалин Е.П. + 4 инженера	
4. Проведение испытаний комбинированного горизонтально – вертикального криостата со сверхпроводящим магнитом на дифрактометре ДН-12. Разработка и модернизация криостатов на спектрометрах ИБР-2.	Черников А.Н. Кичанов С.Е.	Реализация 2018-2020
ЛНФ	Лукин Е.В., Коваленко Н.А.+ 2 инженера	
5.Разработка проточных криостатов на базе криокулеров замкнутого цикла.	Черников А.Н.	Реализация 2018-2020
ЛНФ	Коваленко Н.А. + 2 инженера	
6. Разработка и внедрение газовых и сцинтилляционных детекторных систем на спектрометрах ИБР-2	Чураков А.В.. Круглов В.В. Богдзель А.А.	Реализация 2018-2020
ЛНФ	Милков В.М.+ 3 инженера, Дроздов	

	В.А. + 3 инженера, Журавлев В.В.+ 3 инженера, Кирилов А.С. + 1 инженер	
7. Развитие систем сбора данных, систем управления и автоматизации экспериментов, а также программного комплекса Sonix+ на спектрометрах ИБР-2. ЛНФ	Приходько В.И. Сиротин А.П. Кирилов А.С. Богдзель А.А. + 4 инженера, Журавлев В.В. + 3 инженера, Зернин Н. Д.+ 1, Мурашкевич С.М. +2 инженера	Реализация 2018-2020
8. Развитие сетевой инфраструктуры ЛНФ в соответствии со стратегией развития вычислительной сети ОИЯИ. ЛНФ	Приходько В.И. Сухомлинов Г.А. + 2 инженера, Кирилов А.С. + 2 инженера, Маношин С.А. +1 инженер Кореньков В.В.+ 2 инженера	Реализация 2018-2020
ЛИТ		

Ожидаемые результаты по завершении темы:

1. Разработка и создание системы управления и контроля замедлителя К3201. Пуск и наладка систем замедлителя К3201 после завершения монтажа. Проведение пробных загрузок камеры. Поддержка и текущая модернизация холодного замедлителя К3202 с системами управления и контроля. Проведение экспериментов по исследованию материалов для холодных замедлителей.
2. Исследование радиационной стойкости материалов и электронных компонентов на облучательной установке 3-го канала ИБР-2.
3. Развитие и применение программного комплекса VITESS и других пакетов программ для моделирования нейтронного рассеяния в образцах и в отдельных компонентах спектрометров. Комплексный расчет и оптимизация спектрометров.
4. Разработка детекторов нейтронов (в том числе с не гелиевыми конвертерами), детекторной электроники и систем сбора и накопления данных для оснащения спектрометров ИЯУ ИБР-2.

5. Разработка проточных криостатов на базе криокулеров замкнутого цикла. Проведение испытаний комбинированного горизонтально-вертикального криостата со сверхпроводящим магнитом и изменяемой температурой 4-300К на дифрактометре ДН-12, ввод в эксплуатацию. Разработка и модернизация криостатов на спектрометрах ИЯУ ИБР-2.
6. Развитие систем контроля и управления исполнительными механизмами, оборудованием окружения образца и прерывателями спектрометров ИЯУ ИБР-2.
7. Совершенствование программного обеспечения спектрометров ИЯУ ИБР-2. Развитие сетевой и вычислительной инфраструктуры ЛНФ в соответствии с потребностями Лаборатории и стратегией развития вычислительной сети ОИЯИ.

Ожидаемые результаты по этапам темы или проектам в текущем году:

1. Разработка и тестирование системы управления и контроля замедлителя КЗ201 в направлении пучков №№ 1, 4, 6-9; проведение пробных загрузок камеры замедлителя без мощности реактора. Текущая модернизация и эксплуатация КЗ202. Штатное использование системы без азотной загрузки шариков и диафрагмы для измерения расхода газа на замедлителях КЗ201 и КЗ202. Исследование нейтронно-физических свойств альтернативных материалов холодного замедлителя с целью продления времени его работы на физический эксперимент. Создание и тестирование разгрузочного устройства шнекового типа для замедлителя КЗ201 на лабораторном стенде, а также его испытание на полномасштабном испытательном стенде.
2. Изучение радиационной стойкости материалов на установке для радиационных исследований.
3. Разработка новых программ для моделирования полных рефлектометрических экспериментов в кинематическом приближении.
4. Завершение работ по изготовлению детекторной системы «Астра-М» и ввод ее в эксплуатацию на дифрактометре ФСД. Разработка технического проекта детектора обратного рассеяния для дифрактометра ФДВР. Разработка проекта детектирующего модуля и системы накопления данных для многодетекторной системы спектрометра ДН-12, испытание элементов системы накопления на нейтронном пучке. Разработка прототипа детектирующего модуля с аналоговой электроникой для модернизации детекторной системы спектрометра НЕРА-ПП. Развитие инфраструктуры для создания детекторов нейтронов.
5. Разработка технического проекта проточного криостата с циркуляцией гелия-4 с охлаждением криокулером замкнутого цикла для получения диапазона температур ниже 2К, выбор и приобретение оборудования и комплектующих изделий. Изготовление новых обмоток и сборка сверхпроводящего магнита для дифрактометра ДН-12.
5. Модернизация систем управления исполнительными механизмами спектрометров РЕФЛЕКС и ГРЭЙНС.

6. Сопровождение и развитие комплекса Sonix+ по запросам пользователей, адаптация Sonix+ для работы с DAQ- контроллерами на основе интерфейса USB-3. Разработка концепции центрального хранилища данных с учетом специфики ЛНФ.

Сотрудничество по теме:

Страна или международная организация	Город	Институт или лаборатория	Участники	Статус
Болгария	София	INRNE BAS	Богданова Н.Б.	Совместные работы
Беларусь	Минск	БГТУ	Дормешкин О.Б. +2чел.	Протокол
Россия	Москва	НИЯУ "МИФИ"	Волков Ю.А.	Совместные работы
	Москва	НИЦ КИ	Аткин Э.В. + 2 чел. Эмм В.Т. + 2 чел.	Совместные работы
	Москва, Троицк	ИЯИ РАН	Садыков Р.А. + 2 чел.	Совместные работы
	Гатчина	ПИЯФ	Григорьев С.В. Булкин А.П. + 2 чел.	Совместные работы
	Екатеринбург	ИФМ УрО РАН	Бобровский В.И. + 2 чел.	Совместные работы
	Дубна	Университет "Дубна"	Ю.Н. Крюков + 3 чел.	Протокол
Румыния	Бухарест	INCDIE ICPE-CA	Сетнеску Р. Добрин И.	Протокол
Украина	Львов	НУЛП	Большакова И.	Протокол
Чехия	Ржеж	NPI ASCR	Штрунц П. + 1 чел.	Совместные работы
Аргентина	Барилоче	CAB	Р. Гранада +2 чел.	Совместные работы
Великобритания	Дидкот	RAL	Бодуэн З. + 3 чел.	Совместные работы
Венгрия	Будапешт	Wigner RCP	Рошта Л. + 2 чел.	Совместные работы
Германия	Берлин	HZB	Вильперт Т.	Совместные работы
	Юлих	FZJ	Брюкель Т. Иоффе А.	Совместные работы
Республика Корея	Тэджон	NFRI	Ли Юнг-Сеок + 2 чел.	Протокол
Швеция	Лунд	ESS ERIC	Р. Холуилтон	Совместные

Швейцария	Виллиген	PSI	М. Волмутер+1 чел.	работы Совместные работы
ЮАР	Претория	NECSA	М. Радебе	Совместные работы

Сроки выполнения работ:

Работы по теме будут выполняться в 2018-2020 гг. в соответствии с ежегодными проблемно-тематическими планами научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ. Полный объем финансирования темы по материальным статьям бюджета, соответствующий контрольным цифрам Семилетнего плана развития ОИЯИ на 2017-2023 годы, приведен в **Таблице 1**.

Таблица 1

Наименование работ	Стоимость работ, kUSD		
	2018	2019	2020
Разработка систем контроля и управления для холодных замедлителей нейтронов и исполнительных механизмов	250	255	220
Разработка детекторов, систем окружения образца, криогенного оборудования, систем сбора и накопления данных; развитие информационно-вычислительной инфраструктуры ЛНФ	1120	1215	1360
Итого:	1370	1470	1580

Другие источники финансирования:

Гранты полномочных представителей стран-участниц ОИЯИ (Румынии, Беларуси, Чехии), контракт с МАГАТЭ.