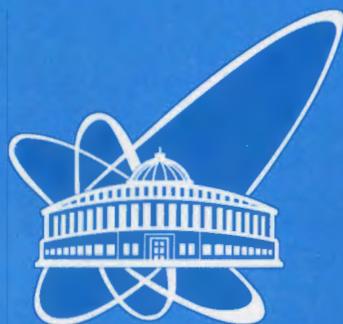


67820



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

182-03

P3-2003-182

А. Б. Попов

ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
РЕАКТОРА **ИБР-1** И ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

2003

В 2001 году завершил свою научную «карьеру» бустер ИБР-30+ЛУЭ-40, и это событие возвращает память к истории создания в Дубне первого реактора на быстрых нейтронах и к тому, что было в ранний период жизни ЛНФ. Это было время становления коллектива лаборатории, когда чуть ли не ежедневно принимались на работу новые сотрудники, в основном молодые выпускники вузов и техникумов. Завершалось строительство зданий, шли работы по изготовлению и монтажу необычного реактора, его систем управления и защиты, по их наладке и подготовке к пуску. Сразу же развернулась разработка аппаратуры для первых экспериментов. Молодость всегда прекрасна! Молоды были нейтронная физика, экспериментальные методики, молоды были сотрудники, уникален создаваемый реактор, - все это окутывает то время неповторимостью и романтикой.

Фактически возникновение ЛНФ состоялось в начале 1957 года, когда кроме директора И.М.Франка и главного инженера С.К.Николаева в штате лаборатории появилось еще несколько специалистов. К концу того года штат достиг ~30 человек. В числе принятых были Ю.С.Язвницкий, Н.А.Мацуев, В.П.Алфименков, В.Д.Шибасев, Г.Н.Забиякин, Т.В.Ануфриева, Б.Н.Дерягин, В.Н.Ефимов, Б.И.Воронов, И.И.Шелонцев, А.К.Попов, внесшие в последующем огромный вклад в становление и достижения ЛНФ. К концу 1958 года штат лаборатории возрос до 75 сотрудников, пополнившись молодыми радистами, физиками, инженерами. Заметный вклад в атмосферу научных обсуждений характеристик создаваемого реактора и его пучков внесли тогда корейский физик Ким Хен Бон, В.Н.Ефимов, болгарин Васил Христов.

Наверно, интересно упомянуть некоторые моменты лабораторной жизни первых лет. 11 марта 1958 г. состоялся первый научный семинар, на котором В.Н.Ефимов обосновал вывод формулы Брейта-Вигнера для описания резонансного взаимодействия нейтронов с ядрами. 26 апреля 1958 г. прошло первое общелабораторное производственное собрание с участием И.М.Франка, обсудившее изготовление систем ИБРа, подготовку электроники и детекторов для экспериментов. 24 мая сотрудники вышли на первый субботник по строительству здания 43, находившегося еще за площадкой ЛЯП. Первые нейтроны были зарегистрированы в ЛНФ от источника 11 августа с помощью разрабатываемого сцинтилляционного жидкостного детектора. Организовывались коллективные поездки в Москву на автобусе на культурные мероприятия (панорамный кинотеатр, Дворец спорта). Существенным фактором было обеспечение жильем и постоянное его улучшение. Вновь поступившие или молодожены быстро получали комнаты, шли постоянные переселения, - такова была та эпоха...

Еще несколько слов о спектре дел и общей атмосфере.

В 1959 г. завершается строительство зданий 43 и 44. До этого у «нейтронки» не было своих зданий-помещений. И «ютились» наши сотрудники в разных местах. Сначала мы имели 13 комнат на втором этаже третьего корпуса ЛЯП (в которых размещались сотрудники секторов эксплуатации, радистов, физиков, КБ, кабинет был только у С.К.Николаева) и две комнаты для мастерских на первом этаже. Затем получили комнаты в ЛВЭ для наших химиков и радистов. Позже нам выделяли комнаты в новом здании ЛЯР, когда не смогли разместиться все в 44-м здании.

Импульсность реактора потребовала разработки оригинальной аппаратуры СУЗа и дозиметрического контроля. Перспектива использования метода времени пролета в будущих экспериментах потребовала разработки первого в СССР временного анализатора, выполненной Л.А.Маталиным в Обнинске. С освоения и наладки этого 1000-канального анализатора начал свою деятельность В.Д.Шибает, другой анализатор разрабатывал Б.Е.Журавлев.

Мечты и реальность. В начале 1958 г. только шло строительство зданий 43 и 44, измерительных павильонов, а настрой был такой, что к концу года будет пуск реактора. Строительство завершилось в 1959-м, и начались монтажные работы на ИБРе. Упомянем, что прорабом на строительстве был будущий административный директор ОИЯИ В.Л.Карповский. На монтаж пульта ИБРа были привлечены лаборанты из физических групп: Е.Кулагин, Н.Линьков, А.Ложкарев, Л.Буц, М.Тулянкина (Язвickaя). Успешно завершились критсборки, шла наладка СУЗа, которой руководила Ю.А.Блюмкина, постоянно забегавшая в нашу комнату напротив пультовой, чтобы что-нибудь перепасть в отлаживаемом блоке. Кстати, схема стартовых импульсов для запуска измерительной аппаратуры не была включена в проектную разработку систем ИБРа, и наши радисты изготовили ее в двухнедельный срок перед пуском реактора. Пуск реактора приближался, в здании 44 часто можно было увидеть Д.И.Блохинцева.

В стендовых испытаниях вращающейся механики ИБРа участвовали В.П.Алфименков и Ю.М.Останевич, В.И.Лушиков провел измерения скорости срабатывания аварийной защиты в смонтированной зоне ИБРа.

Наступили июньские белые ночи. С Шибаетым приступили к проверке работы привезенного из Обнинска анализатора, используя импульсы от системы "нулей" ИБРа. Шкала временного анализатора была настроена так, чтобы каждый второй "нулевой" импульс регистрировался как детекторный после запуска анализатора предыдущим сигналом "нуля". Вот и приходили мы с Владимиром Дмитриевичем в ночи, когда шли "прокрутки" подвижного механизма ИБРа, чтобы понаблюдать за работой анализатора, а заодно и исследовать стабильность оборотов ОПЗ (основной подвижной зоны). Было очень интересно после многочисленных наблюдений равномерной статистики от импульсов гамма-детектора, подаваемых на анализатор, увидеть нарастающий пик от "нулей" и следить за изменениями временного интервала между двумя последовательными стартами. При первых испытаниях частота оборотов иногда имела не плавные уходы, а скачки, которые проявлялись во временном спектре анализатора появлением нескольких пиков. Первая анализаторная находилась над пультовой ИБРа, одно из окон выходило на крышу галереи шестого пучка. Через него можно было вылезти на крышу со стулом и под светлым небом подышать волнующей ночной прохладой.

К пусковым работам физиками были подготовлены детекторы нейтронов и гамма-лучей и установлены в экспериментальном зале, чтобы можно было наблюдать на временном анализаторе форму нейтронного импульса и исследовать ее зависимость от реактивности (положения регулирующих органов реактора).

Наступило 23 июня 1960 г. С утра на пульте ИБРа и в анализаторном зале было оживление. В основном участники пусковой бригады были задействованы на пульте и на дополнительных пересчетках в 43-м здании. Штатная "сузовская" аппаратура обеспечивала контролируемый вывод реактора

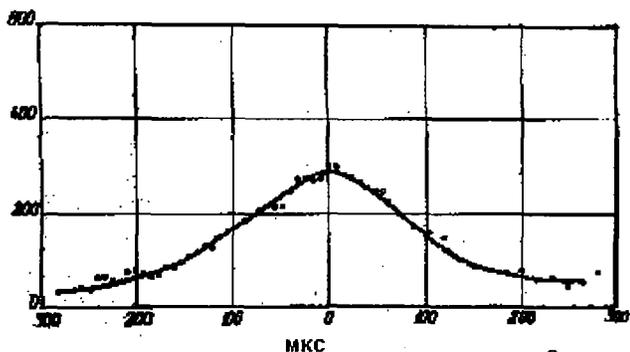
в подкритическое и критическое состояние и определение текущей реактивности и средней мощности. Однако на пульте в момент пусковых работ не было возможности увидеть детальную форму импульса мощности, поэтому руководитель пуска Ю.Я.Ставиский по мере выполнения этапов программы “разгона” реактора поднимался к нам в анализаторную, чтобы посмотреть, что происходит с формой реакторного импульса. После выполненного замера мы с Шибяевым старались быстро до прихода Юрия Яковлевича построить на миллиметровке вид наблюдаемого спектра от пороговой камеры деления, которая регистрировала только быстрые нейтроны (с энергией выше 1 МэВ) и правильно воспроизводила форму “вспышки” реактора. В предыдущие дни мы уже измерили, что при нулевой мощности (при размножении неподвижной зоны ИБРа около 30) вращение ОПЗ приводит к пикообразному распределению импульсов от камеры с полушириной около 350 мкс, которая определялась временем прохождения вращающегося уранового вкладыша через неподвижную плутониевую зону. По мере повышения реактивности форма распределения импульсов от делительной камеры начала стремительно сужаться и уже при средней мощности несколько ватт достигла 40 мкс. Расчетная ширина нейтронного импульса была достигнута. Известен акт, подписанный участниками пуска. История требует восстановления справедливости: проводившие измерения на анализаторе остались “за кадром”. Зато мы вместе со всеми были приглашены Д.И.Блохинцевым, находившимся на пульте в момент вывода ИБРа в надкритическое состояние, на очень поздний ужин в Дом ученых, чтобы отметить, теперь можно не скромничая сказать, выдающееся событие в истории советской техники и науки. Главное в памяти – общая радость и приподнятость. Много позже родились рифмы:

Д.И.Блохинцев – наш отец,
Ты ИБРа первого творец.
Собрав нас в этот милый зал,
Бокал вина ты поднимал
Во славу первого нейтрона
И пользы доброй для народа.
Была вкусна закуска
В тот вечер после пуска.

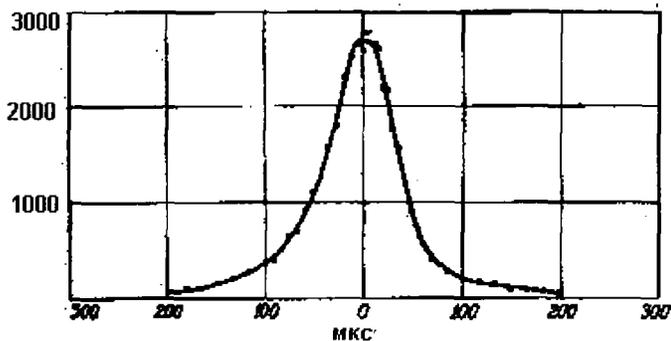
На рис. 1 и 2 показано изменение формы нейтронного импульса с повышением реактивности. Видно, как полуширина импульса уменьшалась от 200 мкс (при отрицательной реактивности) до 36 мкс (при положительной, соответствующей средней мощности реактора ~ 1 кВт).

В 1970 г. Дмитрий Иванович на вопрос Е.П.Шабалина: “Что было первично – идея импульсного реактора с вращающимся диском или желание создать хороший импульсный источник нейтронов?”, – дал такой ответ:

“Первичным было желание иметь мощный источник нейтронов, который мог бы применяться для различных целей. Хотя идея импульсного реактора периодического действия была предложена мною, уже на первых порах во всех обсуждениях принимали участие сотрудники ФЭИ М.Е.Минашкин, И.И.Бондаренко, Ю.Я.Ставиский, которые внесли ясность в отношении перспектив такого реактора. В частности имелось в виду и применение его для



Форма импульса при $\epsilon_{\text{мк}} = 5 \times 10^{-3}$

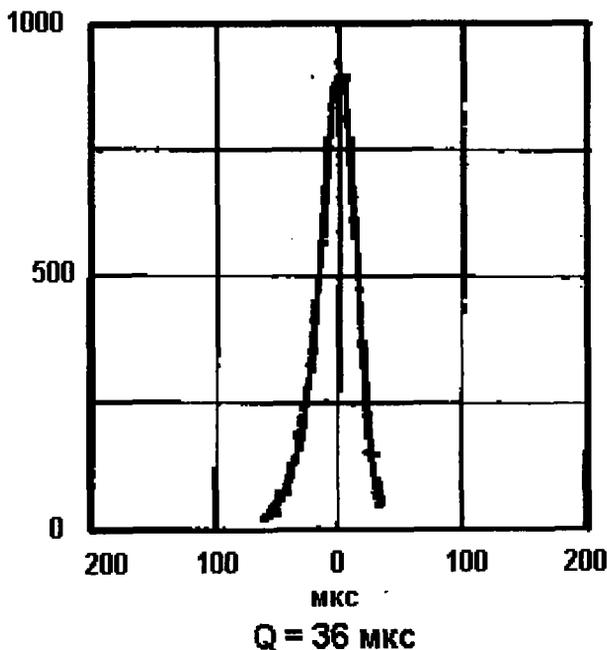


Форма импульса при $\epsilon_{\text{мк}} = 0.4 \times 10^{-3}$

Рис.1. Форма нейтронного импульса реактора ИБР-1 при разных реактивностях

нейтронной спектроскопии. Преимущество импульсного реактора в сравнении с механическим селектором, применяемым на стационарных реакторах, были ясны с самого начала: ведь намного экономичнее заставить пульсировать мощность реактора вместо отсекаания нейтронного пучка прерывателем”.)

*) Из интервью для стенгазеты “Нейтрон”, 1970 г.



Форма импульса при $\epsilon_m \sim 0.7 \times 10^{-3}$

Рис.2. Форма нейтронного импульса ИБР-1 при мощности ~ 1 кВт

Эта идея использования нового реактора для спектрометрии нейтронов, подчеркнутая его разработчиками, была определяющей при подготовке первых экспериментов. В то время еще активно использовались механические прерыватели на стационарных реакторах, сами данные о сечениях и параметрах проявляющихся в них резонансов были весьма ограниченны. Практически не было данных для разделенных изотопов. Только начинались исследования конденсированных сред с помощью нейтронов. Эти обстоятельства предопределили направления методических разработок. Разрабатывался высокоэффективный жидкостный боросодержащий сцинтилляционный детектор для измерений полных сечений (Ю.С.Язвицкий, Э.Н.Каржавина, А.Б.Попов, Ван Най-янь, Яо Чу-чуань, И.Визи, Т.Стадникова, Н.Паженцев, А.Дмитров, В.Журавлев, А.Чайников). Создавались жидкостный сцинтилляционный 4π -детектор большого объема для регистрации гамма-лучей от захвата нейтронов и 4π -сцинтилляционный детектор для регистрации упруго рассеянных резонансных нейтронов (Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов, Ким Хи Сан, Н.Илиеску, Чен Линь-янь, Н.Хатько, Т.Брызгалова, В.Котовская).

Г.С.Самосват, Б.Кардон, Д.Киш стартовали с поисков прямого захвата нейтронов, используя *NaI*-кристаллы. В.В.Голиков и А.Шкатула занялись изучением особенности рассеяния медленных нейтронов на воде. Ю.В.Рябов, Ван Ши-ди, Ю.И.Колгин приступили к разработке аппаратуры для исследований сечений деления. Огромную роль в выборе и подготовке экспериментов играл Ф.Л.Шапиро.

В те годы наша промышленность министерства среднего машиностроения выпускала достаточно широкий ассортимент электронной аппаратуры, однако эти блоки отставали по параметрам от достижений того времени. Поэтому параллельно закупкам промышленной аппаратуры проводилась разработка своих электронных блоков для физических установок. Нужно отдать должное начальнику сектора электроники Г.Н.Забиякину, настоявшему на разработке своей стандартной “линейки” аппаратуры сначала на лампах, в последующем на транзисторах и создании лабораторного измерительного центра. Это не только обеспечило физиков необходимой аппаратурой, но и упростило ее обслуживание. Упомянем героев тех разработок – Г.П.Жукова, В.Н.Замря, В.Г.Тишина, В.И.Чивкина, К.Г.Родионова, Б.Н.Соловьева. Конец 50-х и начало 60-х годов было время интенсивного внедрения новой элементной базы: радиоламп, фотоумножителей, полупроводников. Методические разработки ЛНФ всегда поддерживались на передовом уровне. Большие поисковые работы были проведены по созданию жидкостных сцинтилляционных детекторов. Здесь все требовало поиска: лучших сцинтиллирующих добавок, лучших отражателей для покрытия поверхностей контейнеров и их связующей основы, которая не портила бы сцинтиллирующие способности жидкости, лучших фотоумножителей как по временным и шумовым характеристикам, так и по площади фотокатодов, лучших резин для уплотнений и лучших клеев. В то удивительное время достаточно было приехать на любой завод или в любой институт с письмом на имя директора или главного инженера, в котором содержалась стандартная фраза (по-моему, изобретенная В.В.Голиковым) “дирекция ЛНФ в порядке научно-технического сотрудничества просит оказать содействие такому-то в получении консультации по такому-то вопросу”, - и тебе открывались все двери не только для консультации, но и для получения новейших образцов ФЭУ, фторопластовых резин, эпоксидных клеев, соединений для отражателей...

В ноябре 1960 г. И.М.Франк выступил на Ученом совете с докладом [1], в котором представил не только итоги пуска и исследований физических параметров ИБР, но и обзор подготовленных экспериментов. Приведенные в нем результаты исследований формы нейтронного импульса и их флуктуаций были получены группами физиков, участвовавшими в пуске реактора. И.М.Франк отметил: “В проведении экспериментов непосредственное участие приняли физические группы Лаборатории, а подготовленные ими и отделом электроники аппаратура оказалась чрезвычайно полезной”. В дальнейшем эти исследования были более детально проведены под руководством Ю.С.Язвницкого уже группой сотрудников отдела эксплуатации [2], которая изучила роль спутников.

Первые измерения на пучках ИБР были выполнены в декабре 1960 г. Они продемонстрировали готовность созданных детекторов и электронной аппаратуры к проведению запланированных экспериментов.

Не все гладко проходило в освоении нового реактора, была остановка из-за разгерметизации нейтронного источника, установленного в зоне. Вызвало беспокойство поведение покрытий уранового вкладыша в ОПЗ при большой частоте оборотов. В.И.Лушиковым была разработана дополнительная система контроля за их состоянием.

В 1961 году начались планомерные исследования на пучках нового реактора. В 1962 году на международную конференцию в Вене по ядерной электронике группой авторов, состоящей из физиков и электронщиков, был представлен доклад [3], в котором описывались два детектора, предназначенные для исследований по времени пролета, - нейтронный детектор для измерений полных сечений и детектор захватных гамма-лучей для измерений сечений радиационного захвата и сечений самопоглощения. В этом докладе приводились результаты первых измерений для образца из естественного серебра. На этом образце мы учились получать параметры нейтронных резонансов из комбинации разных типов экспериментальных данных - полного сечения, временных спектров выхода гамма-лучей и самопоглощения. Первые обработки данных проводились вручную с использованием механических счетных машин: приходилось суммировать для 1000 каналов десятки бумажных выдач с анализатора, учитывать фоны, вычислять пропускание и площади резонансов.

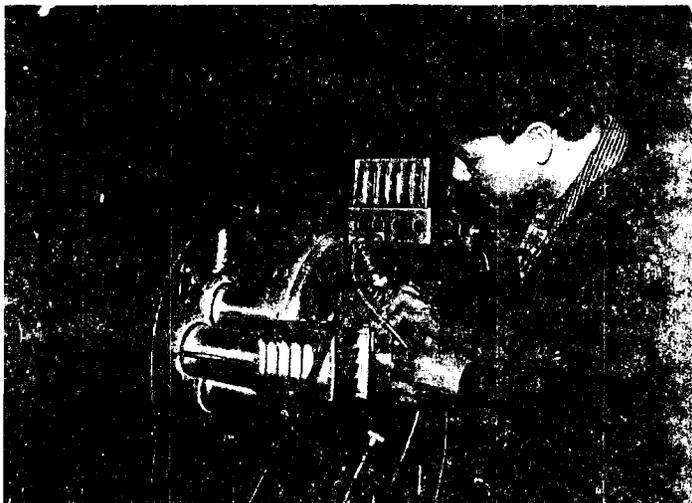


Рис.3. Общий вид жидкостного сцинтилляционного детектора нейтронов

Рисунки 3 - 6 взяты из этого доклада. Следующим объектами исследования были выбраны родий [4], бром [5], празеодим и тербий [6], для которых данные о параметрах нейтронных резонансов практически отсутствовали. В нашей лаборатории развивался комплексный подход к таким исследованиям, когда для выбранного образца проводились измерения пропускания, выхода гамма-квантов, самопоглощения и упругого рассеяния нейтронов. Это позволяло получать полный набор параметров резонансов: их

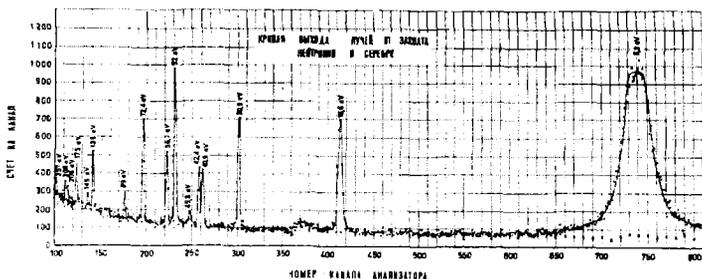


Рис.6. Кривая выхода гамма-лучей от захвата нейтронов в серебре

Какое место занял ИБР среди действовавших в начале 60-х годов нейтронных спектрометров, видно из таблицы. Спектрометр на базе ИБРа, имея разрешение, достигаемое на механических прерывателях на пролетных базах около 100 метров, и обладая намного большей интенсивностью, оказался вне конкуренции для исследований низкоэнергетических резонансов и реакций с малыми сечениями. Для повышения разрешения спектрометра было выдвинуто предложение использовать ИБР как бустер, впрыскивая в его активную зону синхронно с импульсом мощности пучок электронов. В качестве первого инжектора был использован микротрон. Бустерный режим работы ИБРа и микротрона для физических измерений был реализован 15 декабря 1964 г., что позволило улучшить разрешение в 10 раз при сохранении интенсивности нейтронов в импульсе.

Одновременно с развертыванием измерений на пучках ИБРа бурно развивались электронные средства для накопления и обработки экспериментальных данных. Мы очень быстро перешли от вывода цифровых данных с анализаторов на бумажную ленту к записи данных на магнитную ленту, используя канал связи между нашим измерительным центром и вычислительным центром ОИЯИ. Была полностью переведена на ЭВМ и вся первичная обработка данных. Над этим плодотворно поработали И.И.Шелонцев и Н.Ю.Ширикова, они же создали программы вычисления параметров резонансов методом площадей и методом формы. Совершенствовались анализаторы - были введены в эксплуатацию анализаторы с числом каналов 4К, в 70-е годы измерительная аппаратура была переведена на стандарт КАМАК с использованием малых ЭВМ. Физики-ветераны стали свидетелями фантастического скачка в развитии электронных устройств. Анализаторы на лампах требовали отбора ламп и постоянного обслуживания, круглосуточного дежурства электронщиков. У Г.Н.Зимина был специальный молоток, которым он отстукивал схемы, чтобы найти плохие контакты и плохие блоки. Большим достижением была установка в измерительном центре системы осциллографа со световым карандашом на базе ЭВМ БЭСМ-4 - ЛНФ шагала всегда в ногу со временем. Этому способствовали наши специалисты: Г.П.Жуков, В.Д.Шибяев, В.Н.Замрий, В.Г.Тишин, В.И.Чивкин, В.Вагов, В.В.Владимиров, Г.Н.Зимин, Г.А.Сухомлинов, В.А.Ермаков и другие.

Сравнительные характеристики нейтронных спектрометров начала 60-х годов

Установка	Θ , нс	Пролетная база, м	Разрешение, нс/м
<u>Ускорители:</u>			
Синхроциклотрон Колумбийского университета	20	200	1
ЛУЭ Харуэлл	250 - 1000	200	1 - 5
ЛУЭ Сакле	100	100	1
ЛУЭ ИАЭ	50 - 600	100	0.5 - 6
<u>Механические</u>	<u>прерыватели</u>	<u>на реакторах:</u>	
Аргонская лаб.		120	12
Ок-Ридж		180	6
Чок Ривер		200	15
ИЯИ АН УССР		125	20
ИТЭФ		40	20
ФЗИ		130	20
ИБР-1	40000	1000	40
ИБР+микротрон	4000	1000	4

В докладе на Ученом совете, посвященном первым научным результатам, полученным на реакторе ИБР-1, И.М.Франк отметил как успех получение параметров для 17 резонансов родия на 14 авторов. С годами мы смогли получать параметры для сотни резонансов на двух-трех авторов. В ЛНФ активность в нейтронной спектроскопии была многие годы сосредоточена на исследовании нейтронных резонансов разделенных изотопов, особенно редкоземельных ядер, для которых в литературе имелись ограниченные данные. Этому способствовало то обстоятельство, что в Советском Союзе было накоплено уникальное собрание разделенных изотопов, которые можно было получать в аренду для исследований бесплатно. Исследования параметров нейтронных резонансов в ЛНФ дали существенное пополнение в мировой банк данных, который накапливался многие годы в Брукхейвенской лаборатории, в советском и японском Центрах ядерных данных. Как было сказано выше, была получена информация об энергиях резонансов, их нейтронных и радиационных ширинах, спинах. Это позволило исследовать систематику плотности ядерных уровней при энергии связи нейтрона, нейтронных силовых функций, средних радиационных ширин, спиновые эффекты. Компиляция резонансных параметров 80-х годов [7], которая до сих пор широко используется физиками, содержит более 150 ссылок на результаты ЛНФ. Новые таблицы резонансных параметров С.И.Сухоручкина с соавторами [8], изданные в 1998 г., сохраняют более 70 ссылок на наши работы. Таков итог исследований в области

нейтронной спектроскопии, начатых в ЛНФ после пуска первого импульсного реактора на быстрых нейтронах.

Первый ИБР создавался усилиями многих специалистов, в подготовке и проведении экспериментов принимали участие сотрудники из всех подразделений лаборатории. Увы, многое изменилось в Институте и жизни, очень многих коллег нет уже с нами... Их труд продолжает приносить пользу, и сегодня в действующих установках, память о них живет в многочисленных научных публикациях. Но ИБР сделал свое "дело" и должен был уйти, - на его место придет новая перспективная установка ИРЕН, а эстафету научных исследований продолжит талантливая молодежь, приходящая на смену старшему поколению. Успехов ей.

Литература

1. И.М.Франк. "Импульсный реактор Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ", ОИЯИ Р-674, Дубна, 1961.
2. В.Д.Денгисов, Ж.А.Козлов, Люй Минь, В.М.Назаров, Г.Н.Погодаев, Е.П.Шабалин, Ю.С.Язвицкий. "Некоторые результаты исследования характеристик ИБРа", ОИЯИ Р-1257, Дубна, 1963.
3. И.Визи, Г.П.Жуков, Г.Н.Забиякин, Э.Н.Каржавина, Л.Б.Пикельнер, А.Б.Попов, Э.И.Шарапов, Ю.С.Язвицкий. "Жидкостные сцинтилляционные детекторы для регистрации нейтронов", в: "Nuclear Electronics I", IAEA, Vienna, 1962, p.27.
4. Ван Най-янь, И.Визи, В.Н.Ефимов, Э.Н.Каржавина, Ким Хи Сан, А.Б.Попов, Л.Б.Пикельнер, М.И.Пшитула, Т.Стадников, Чен Лин-янь, Э.И.Шарапов, И.И.Шелонцев, Н.Ю.Ширикова, Ю.С.Язвицкий. "Исследование нейтронных резонансов ^{103}Rh ", ОИЯИ Р-1313, Дубна, 1963
5. Д.Зелигер, Н.Илиеску, Ким Хи Сан, Д.Лонго, Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов. "Исследование резонансов брома", ЖЭТФ, **45**, с.1294, 1963.
6. Ван Най-янь, Н.Илиеску, Э.Н.Каржавина, Ким Хи Сан, А.Б.Попов, Л.Б.Пикельнер, Т.Стадников, Э.И.Шарапов, Ю.С.Язвицкий. "Нейтронные резонансы празеодима и тербия", ЖЭТФ, **47**, с.43, 1964.
7. S.Mughabghab, M.Divadeen, N.Holden. "Neutron cross section", vol. 1, part A & part B, Academic Press, N.Y., 1981.
8. S.Sukhoruchkin, Z.Soroko, V.Deriglazov. "Tables of neutron resonance parameters", Landolt-Bornstein New Series, vol. 16, Subvolume B, Springer, 1998.