

85-310



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

С348Ж  
4606/85

P13-85-310

УСТАНОВКИ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ ИБР-2  
(краткие описания)

Составитель Ю.М.Останевич

1985

## Отглавление

Введение	стр. 1
Краткие сведения о реакторе ИБР-2	2
Спектрометрический комплекс ДИН-2К	3
Канал ультрахолодных нейтронов	5
Спектрометр малоуглового рассеяния	7
Спектрометр корреляционного анализа	11
Нейтронный диффрактометр ДН-2	16
Нейтронный спектрометр высокого разрешения	20
Спектрометр поляризованных нейтронов	21
Спектрометр КДСОГ-М	24
Биофизический канал	29
Каналы для облучения	32
Измерительный центр	34
Установка ДИФРАН	36

## Введение

Данный сборник содержит краткие сведения о конструкции физических установок, их параметрах и возможностях физических исследований на импульсном реакторе ИБР-2 Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований. Первый опыт физических исследований, полученный во время энергетического пуска и освоения самого реактора, показал, что в распоряжение исследователей (физиков, химиков, биологов, материаловедов и др.) поступил новый, необычайно эффективный источник нейтронов, который с успехом может быть использован для решения различных научных задач методами нейтронографии, активационного анализа и радиационных воздействий.

К середине 1984 на реакторе начали действовать 11 физических установок. В ближайшие годы число установок увеличится, они будут модифицироваться и совершенствоваться. Кроме того, мы ожидаем дальнейшего совершенствования и самого реактора. Соответствующие изменения мы намерены отражать в последующих изданиях подобного типа, поэтому основной материал отражает параметры, достигнутые к середине 1984 года. При подготовке сборника мы стремились дать ответы на вопросы, возникающие при планировании и подготовке экспериментов. К их числу относятся светосила и разрешающая способность спектрометров, доступный диапазон передаваемых импульсов и энергии, типичные размеры исследуемых образцов, наличие и параметры устройств, обеспечивающих определенные внешние условия на образцах, возможности математической обработки экспериментальной информации с помощью ЭВМ и требования к машинным носителям информации (диски, ленты), служащим для переноса данных и программ на другие вычислительные машины. Каждое описание включает ссылки на опубликованные работы, содержащие более детальную информацию или, в качестве примера, выполненные физические исследования, а также фамилии сотрудников ИЯФ, которые, в случае необходимости, помогут уточнить любые детали.

Составитель сборника - руководитель научно-экспериментального отдела физики конденсированных сред Ю.М.Останевич - заранее признателен читателям за предложения по улучшению последующих выпусков, а также благодарит своих коллег, представивших краткие описания установок.



## 1. Краткие сведения о реакторе ИБР-2

Импульсный реактор периодического действия на быстрых нейтронах ИБР-2 построен в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ и в настоящее время эксплуатируется на средней мощности 2 МВт. Активная зона ИБР-2 объемом 22 литра содержит 73 топливных кассеты с общей загрузкой топлива - двуокиси плутония - около 90 кг. Охлаждение топливных стержней, удельное энерговыделение в которых составляет 100 кВт/л, осуществляется натрием с температурой на входе 300°C. Система охлаждения двухконтурная, двухпетлевая. Средний подогрев натрия при номинальном расходе через активную зону, равном 100 м<sup>3</sup>/ч, составляет 50°C. Импульс мощности формируется с помощью модулятора реактивности (МР), состоящего из двух стальных подвижных отражателей: основного (ОПО), вращающегося с частотой 1500 об/мин, и дополнительного (ДПО), частота вращения которого равна нулю или 300 об/мин. Частота следования импульсов мощности зависит от частоты вращения ДПО и составляет 5 или 25 с<sup>-1</sup>. Нейтронно-физические характеристики МР в настоящее время оптимизированы для следующей конструкции: ОПО - лопасть, ДПО - трезубец, и в дальнейшем могут быть улучшены при переходе к конструкции МР, состоящего из двух вращающихся навстречу друг другу решеток. Форма импульса мощности близка к гауссовой с шириной на половине высоты  $\theta/2$ , равной 215±4 мкс в режиме 5 Гц и 234 мкс в режиме 25 Гц. Импульсная мощность реактора в режиме 5 Гц составляет 1500 МВт, что обеспечивает максимальную плотность потока утечки тепловых нейтронов с поверхности гребенчатого замедлителя  $8 \cdot 10^{15}$  н·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> с погрешностью 20%. Активная зона окружена двумя гребенчатыми и двумя плоскими замедлителями, которые просматриваются 14-ю горизонтальными каналами, предназначенными для транспортировки нейтронов к физическим установкам.

До июня 1984 года реактор наработал 230 МВт-суток; выгорание ядерного топлива составило 0,3% (в среднем по активной зоне).

Ответственным за исследования по физике реактора ИБР-2 являются В.Л.Ломидзе, Ю.Н.Пепельшев и Е.П.Шабалин.

Подробное описание конструкции реактора и физических аспектов его действия содержится в работах:

В.Д.Ананьев и др. ПТЭ, 1977 г., № 5, стр.17; АЭ, 1984 г., 57, 227.  
V.D.Ananiev et al. Inst.Phys.Conf., Ser. N 67 (c), 1983, p.p. 497-502. Conference "Neutron and its Applications", Cambridge 1982.

V.D.Ananiev, V.L.Lomidze, A.D.Rogov, V.S.Smirnov, E.P.Shabalin, Atomkernergie; Kerntechnik, v.43 (1983) No.4, p.253.

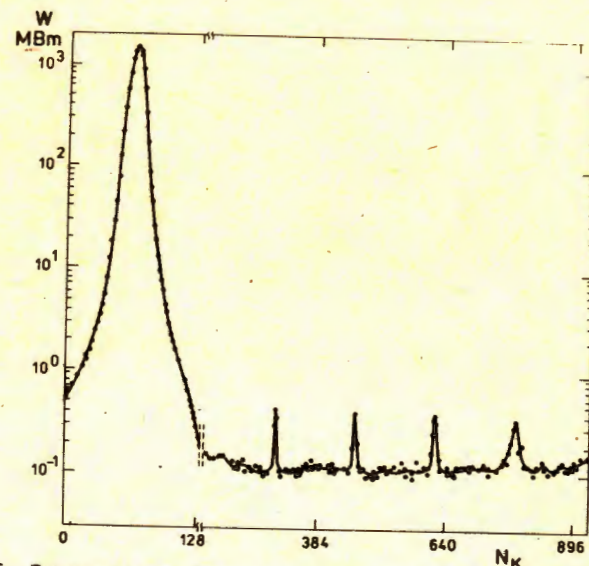


Рис.1-1. Зависимость мощности реактора ИБР-2 от времени (один период повторения). Ширина канала: до 128 канала - 16 мкс, далее - 256 мкс. Средняя мощность - 2 МВт. На рисунке показана часть экспериментальных точек.

## 2. Спектрометрический комплекс ДИН-2К

Спектрометрический комплекс ДИН-2К предназначен для проведения широкого круга исследований по физике конденсированных сред методом неупругого рассеяния медленных нейтронов. Он располагается на пучке № 2 реактора ИБР-2 и включает в себя два спектрометра: ДИН-2ПИ - спектрометр предельной интенсивности и ДИН-2ПР - спектрометр предельного разрешения. Общая схема комплекса представлена на рис.2-1.

В обоих спектрометрах монохроматизация нейтронов, падающих на образец, осуществляется методом времени пролета с помощью механического прерывателя нейтронов, сфазированного с импульсным режимом работы реактора ИБР-2. Анализ энергетического спектра нейтронов, рассеянных образцом, также осуществляется методом времени пролета. Длины пролетных баз спектрометров представлены в таблице 2-1.

На рис.2-2 показан спектр нейтронов, рассеянных образцом гидрида циркония.

Ответственным за проведение экспериментов на комплексе ДИН-2К является Е.Л.Ядровский (ФЭИ, г.Обнинск).

Таблица 2-1

Спектрометр	1 пролетная база	2 пролетная база
ДИН-2ПИ	20 м	7,3 м
ДИН-2ПР	95 м	10 м

Начальные энергии нейтронов, которые могут использоваться в этих спектрометрах:  $0,001 \text{ эВ} \leq E_0 \leq 10 \text{ эВ}$ .

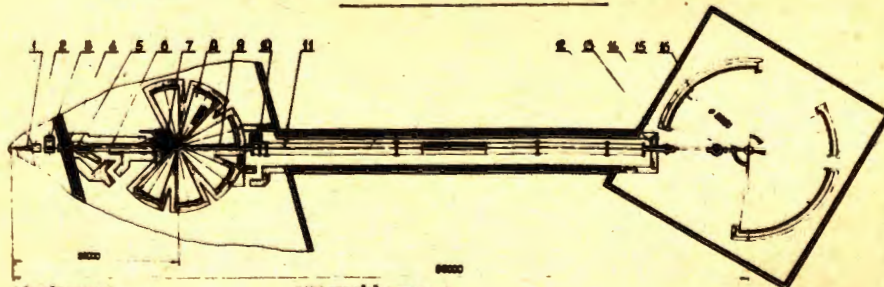
Для подавления фона, связанного с остаточной мощностью реактора, спектрометр оснащен вращающимся коллиматором, расположенным на расстоянии  $\sim 4 \text{ м}$  от замедлителя.

К настоящему времени введен в эксплуатацию спектрометр ДИН-2ПИ. Его характеристики представлены в таблице 2-2.

Таблица 2-2

Длительность импульса монохроматических нейтронов, сформированного прерывателем.	34 мкс при $n_R = 3000 \text{ об/мин.}$
Поток монохроматических нейтронов на образце площадью $15 \times 13 \text{ см}^2$ при мощности реактора $W = 2 \text{ МВт}$ .	$3,0 \cdot 10^5 \text{ н/с}$ для $E_0 = 0,01 \text{ эВ}$ $1 \cdot 10^5 \text{ н/с}$ для $E_0 = 0,008 \text{ эВ}$
Наибольший размер образца	$15 \times 13 \text{ см}^2$
-----	
Детекторная система:	
число независимых детекторов	20 (в настоящее время имеется в наличии 4)
углы рассеяния	$7^\circ - 133^\circ$
телесный угол образец - детектор	$3,4 \cdot 10^{-4}$ стерадиан

Разрешение спектрометра в упругом пике			
$\Delta E_0 \text{ эВ}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
$E_0 \text{ эВ}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$



- 1 Замедлитель
- 2 Шлюз
- 3 Вращающийся коллиматор
- 4 Коллиматор
- 5 Преобразователь дисковый
- 6 Нейтронный с пассивными ускорителями
- 7 Преобразователь роторный
- 8 Спектрометр ДИН-2ПИ
- 9 Нейтронный экранный
- 10 Преобразователь стержневой
- 11 Нейтронный экранно-барьерный (ЭБ)
- 12 Шлюз
- 13 Вращающийся коллиматор
- 14 Нейтронный экранный
- 15 Преобразователь роторный
- 16 Спектрометр ДИН-2ПР

Рис.2-1. Схема спектрометрического комплекса ДИН-2К.

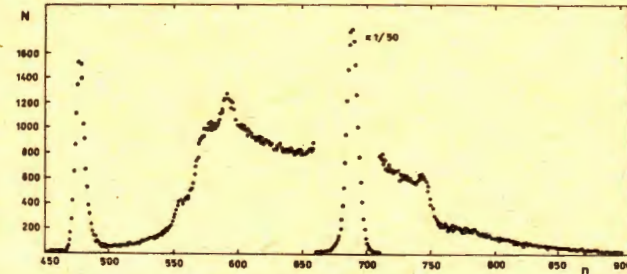


Рис.2-2. Зависимость интенсивности рассеянных нейтронов от времени пролета, измеренная на спектрометре ДИН-2ПИ. Образец -  $ZrH_2$ , угол рассеяния  $42,5^\circ$ , ширина канала 16 мкс, начальная энергия нейтронов  $E_0 = 12,3 \text{ мэВ}$ , продолжительность экспозиции 25 ч при  $W = 2 \text{ МВт}$ .

### 3. Канал ультрахолодных нейтронов

Канал УХН размещается на пучке № 3 (рис.3-1) и обеспечивает транспортировку УХН от замедлителя реактора к экспериментальным установкам.

Нейтронный канал изготовлен из электрополированных труб из нержавеющей стали с внутренним диаметром 187 мм. Общая длина канала 9,6 м. Наиболее близко расположенная к активной зоне реактора головная часть канала представляет собой прямолинейный отрезок длиной 3,2 м, далее нейтронный канал плавно изогнут с радиусом кривизны 30 м. Изогнутая часть нейтронного канала позволяет вывести в экспериментальный зал не только УХН, но и медленные нейтроны со скоростями  $\leq 100 \text{ м/с}$ . Для получения чистого пучка УХН в экспериментальном зале к каналу УХН подсоединяются угловые повороты из электрополированной нержавеющей стали или меди.

В головной части канала размещен конвертор - источник УХН, восстанавливающий низкоэнергетическую часть максвелловского спектра тепловых нейтронов, выходящих из водяного замедлителя реактора, которая теряется при прохождении нейтронов через 10-миллиметровый слой воздуха и вакуумную стенку нейтронного канала. Головная часть канала охлаждается проточной водой. Предусмотрен подвод к конвертору холодного газообразного гелия.

Во избежание излишней активации в нерабочем состоянии канал УХН находится на расстоянии 3 м от активной зоны реактора в кольцевом коридоре. В рабочем режиме канал УХН перемещается почти вплотную к замедлителю реактора - расстояние между поверхностью

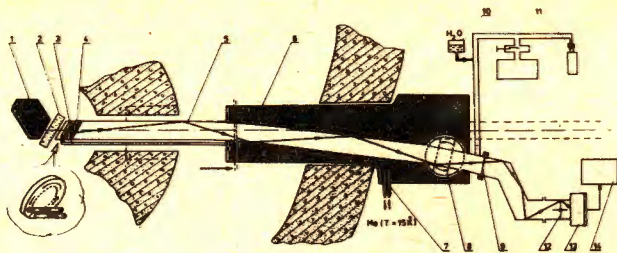


Рис.3-1. Схема канала ультрахолодных нейтронов: I - активная зона реактора; 2 - основной замедлитель; 3 - конвертор; 4 - дополнительный замедлитель; 5 - изогнутый нейтронный канал; 6 - защита; 7 - криогенные трубопроводы; 8 - защитный шибер; 9 - вакуумная мембрана; 10 - вода для замораживания конвертора; 11 - система безмасляной откачки; 12 - шторка; 13 - детектор; 14 - электронная аппаратура.

замедлителя и головной частью канала 10 мм. Система перемещения канала УХН позволяет также выдвигать канал вместе с защитой полностью в экспериментальный зал для проведения крупных профилактических работ.

На конце изогнутого нейтронного канала в экспериментальном зале установлен защитный шибер длиной 1 м для уменьшения фона быстрых нейтронов и  $\gamma$ -лучей. Внутренняя полость нейтронного канала герметично отделяется от присоединяемых к нему экспериментальных установок с помощью алюминиевой вакуумной мембраны толщиной 100 мкм. Внутри нейтронного канала поддерживается вакуум  $\sim 10^{-6}$  Тор, обеспечиваемый насосами безмасляной откачки.

В качестве детектора УХН используется пропорциональный счетчик на основе  $^3\text{He}$ . Эффективность детектора к УХН определяется пропусканием окна счетчика, изготовленного из алюминиевой фольги толщиной 100 мкм, и для изотропного потока нейтронов в интервале скоростей 0 + 5,7 м/с составляет  $\sim 50\%$ . Максимальная площадь детектора - 130 см<sup>2</sup>. Для измерения фона детектор перекрывается медной шторкой толщиной 8 мкм. Накопление и первичная обработка информации проводятся измерительным модулем на базе ЭВМ MERA-60, расположенным в экспериментальном зале.

Средняя величина потока тепловых нейтронов на поверхности полиэтиленового конвертора, определенная по активации золота, оказалась равной  $10^{12}$  н/см<sup>2</sup>·с·МВт. Соответствующий поток УХН из полиэтиленового конвертора при комнатной температуре для нейтронного канала из нержавеющей стали равен 6,6 УХН/см<sup>2</sup>·с·МВт. Экспериментальное

значение пропускания нейтронного канала, определяемое как отношение потока УХН на выходе к потоку УХН на входе, составляет 0,145.

Элементарная теория диффузии при использовании экспериментально определенных значений коэффициента диффузии  $D = 1,6$  м<sup>2</sup>/с и диффузионной длины  $L = 6,5$  м дает пропускание нейтронного канала  $\sim 0,20$ .

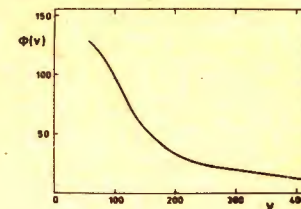
На рис.3-2 представлен спектр нейтронов на выходе изогнутого нейтронного канала, измеренный по методу времени пролета. В качестве детектора использовался пропорциональный счетчик площадью 130 см<sup>2</sup>, заполненный газовой смесью с низким содержанием  $^3\text{He}$  ( $\sim 0,25$  Тор), эффективность которого менялась по закону  $1/v$  во всем интервале измеряемых энергий (для нейтронов со скоростью 60 м/с эффективность детектора составляла  $\sim 1\%$ ). Как и следовало ожидать, изогнутый нейтронный канал резко уменьшает пропускание нейтронов со скоростями  $> 100$  м/с.

Спектр УХН определялся на выходе подсоединенных к изогнутому нейтронному каналу 4 угловых поворотов (одного прямоугольного и трех 60-градусных) путем измерения зависимости счета УХН от высоты подъема детектора над уровнем нейтронного канала. Экспериментальные данные удовлетворительно описываются теоретической кривой, предполагающей спектр скоростей УХН максвелловским.

Канал УХН позволяет проводить физические эксперименты с очень медленными нейтронами в интервале скоростей от УХН до 100 м/с. В настоящее время проведены исследования отражения УХН от сильно поглощающих изотопов. Из измерений коэффициентов отражения УХН от поверхности твердых тел определены толщины окисных пленок на поверхности ряда металлов.

Ответственный за проведение физических экспериментов на канале УХН В.В.Голиков.

Рис.3-2. Спектр нейтронов  $\Phi(v)$  на выходе изогнутого нейтронного канала.  $\Phi(v)$  в единицах нейтр./с·МВт;  $v$  - скорость нейтронов в м/с.



#### 4. Спектрометр маломугольного рассеяния нейтронов МУРН

Установка расположена на канале № 4. Ось пучка направлена на замедлитель ГЗ-4-6 под углом 18° от нормали к эффективной поверхности замедлителя. Пучок коллимируется с помощью двух коллиматоров

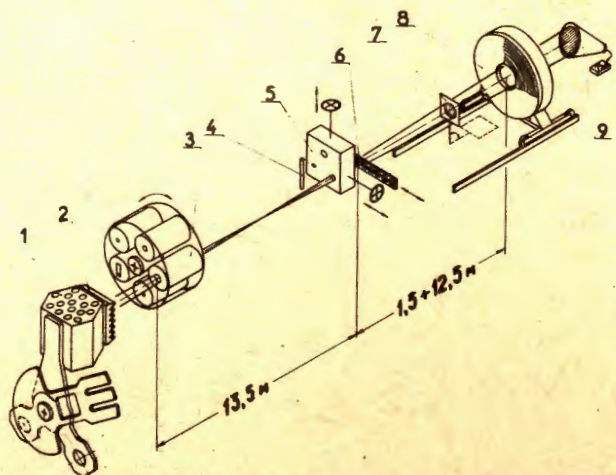


Рис. 4-1. Схема спектрометра малоуглового рассеяния нейтронов. Цифрами обозначены: 1 - активная зона реактора; 2 - гребенчатый замедлитель; 3 - сменный коллиматор; 4 - монитор; 5 - юстируемый коллиматор; 6 - кассета с образцами; 7 - ванадиевая фольга; 8 - кольцевой детектор рассеянных нейтронов; 9 - детектор прямого пучка.

(рис. 4-1) переменного диаметра (см. табл. 4-1). Коллиматор К2, кроме того, допускает юстировку в плоскости, перпендикулярной оси пучка.

Узел образца снабжен механизмом смены образцов, в котором устанавливается кассета, содержащая до 6 образцов. Держатель кассеты снабжен каналами для циркуляции теплоносителя, что с помощью внешнего термостата позволяет контролировать температуру образцов в пределах  $-20 + +150^{\circ}\text{C}$ . Диаметр посадочного гнезда для установки образца в кассете 42 мм, точность позиционирования образца относительно оси пучка  $\pm 0,5$  мм.

Для исследования растворов на основе  $\text{H}_2\text{O}/\text{D}_2\text{O}$  мы располагаем разборными кюветами из оптического кварцевого стекла с внутренним диаметром 32, 23, 16 и 8 мм, толщиной 0,5, 1,0 и 2,0 мм. При работе с органическими растворителями используются сварные кюветы из алюминия. Детекторная система установки построена на основе двух кольцевых пропорциональных детекторов, по 8 детектирующих колец в каждом. Перед детекторами (на расстоянии 1,5 м) находятся механизмы привода ванадиевого рассеивателя, которые позволяют вводить в прямой пучок калибровочный рассеиватель (фольга из ванадия, толщиной 0,3 мм). Для измерений пропускания установка снабжена детектором прямого пучка. Мертвое время всех детекторов находится на уров-

не 2,5 мкс. Весь путь пучка, начиная от коллиматора К1, кроме узла образца, проходит в вакууме.

Установка управляется с помощью малой ЭВМ типа СМ-3 из измерительного центра ЛФ. ЭВМ осуществляет управление экспериментальной аппаратурой, накопление данных, их визуализацию, хранение накопленных данных и их передачу на центральную ЭВМ. Организация накопления данных позволяет в автоматическом режиме выполнить список заданий, каждое из которых есть описание циклической последовательности экспозиций ряда образцов и ванадиевого рассеивателя. Во время экспозиции контролируется ряд параметров, при их отклонении за допустимые пределы ЭВМ приостанавливает накопление.

Стандартная процедура обработки результатов эксперимента по малоугловому рассеянию включает поправки на просчеты детекторов, вычитание фона и нормировку результата на сечение рассеяния ванадия. Последняя операция обеспечивает долговременную стабильность измерений интенсивности и абсолютную калибровку результатов с точностью не хуже 5%.

Функция разрешения установки по форме близка к гауссовой, с относительным разрешением  $\frac{\sigma_x}{\mu} \leq 0,1$ , где  $\sigma_x^2$  - дисперсия функции разрешения.

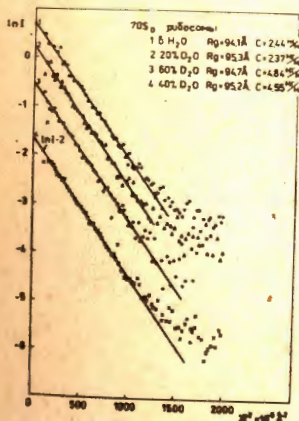


Рис. 4-3. Малоугловое рассеяние в растворах полиметакриловой кислоты,  $C = 25$  мг/мл, время экспозиции 6 часов,  $W = 2$  мВт. Цифрами ( $\alpha = 0, \dots, \alpha = 1$ ) обозначена степень нейтрализации поликислоты.

Рис. 4-2. Малоугловое рассеяние на растворах дейтерированных 70S рибосомных частиц. Время экспозиции 12 часов,  $W = 1$  мВт.

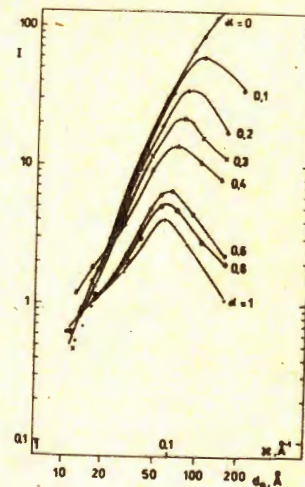


Таблица 4-1

## Основные параметры установки МУРН

- Средний поток тепловых нейтронов на образце  $3,2 \cdot 10^7 R_1^2/R_{1, \max}^2$  н.см<sup>-2</sup>.с<sup>-1</sup> при средней мощности реактора 2 МВт.
- Длина первой коллимирующей базы 13,5 м.
- Расстояние образец-детектор (метры)

№ позиции	1	2	3	4	5	6	7	8
Дет.1	1,417	2,930	4,475	6,015	7,565	9,105	10,630	11,725
Дет.2	1,917	3,430	4,975	6,515	8,065	9,605	11,130	12,225

- Радиусы коллиматора K1: 20; 30; 40; 50 мм.
- Радиусы коллиматора K2: 3,5; 7,0; 14,0 мм.
- Радиусы центральных отверстий детекторов: дет.1 - 100 мм, дет.2 - 40 мм.
- Внутренний  $R_i$  и внешний  $R_o$  радиусы детектирующих колец

№ кольца		1	2	3	4	5	6	7	8
Дет.1	$R_i$	123	153	183	213	243	274	304	334
	$R_o$	153	183	213	243	274	304	334	364
Дет.2	$R_i$	65	85	106	127	148	168	190	211
	$R_o$	85	106	127	148	168	190	211	232

Диапазон используемых длин волн  $\Delta\lambda = 0,7 + 4 \text{ \AA}$ .  
 Диапазон переданных импульсов  $\Delta\lambda = 8 \cdot 10^{-3} - 2,0 \text{ \AA}$ .

Установка эффективна для исследований диффузного малоуглового рассеяния нейтронов в растворах и других изотропных системах при характерных размерах неоднородностей от 10 до 250  $\text{\AA}$ . Большая светосила и внутренняя абсолютная калибровка интенсивности позволяют исследовать системы с плохим отношением эффект/фон, например, растворы синтетических полимеров в  $\text{H}_2\text{O}$  вблизи точки компенсации. К настоящему времени имеется положительный опыт исследований следующих систем: растворов иммуноглобулинов  $IgG$ , растворов 30 S и 50 S субчастиц и 70 S частиц рибосом, растворов полиэлектролитов (полиметакриловая, полиакриловая, полиаспарагиновая кислоты), выпадающих стекол (система  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ), биологических мембран, мицелл и др. ультрамикродисперсных систем.

Подробное описание установки содержится в издании ОИЯИ, Р14-83-898, Дубна, 1983 г.

Ответственным за проведение исследований на установке МУРН является А.Б.Кувченко.

## 5. Спектрометр корреляционного анализа КОРА

Спектрометр корреляционного анализа КОРА предназначен для исследования структуры и динамики конденсированных сред с помощью рассеяния тепловых нейтронов. Используемый в нем корреляционный метод в сочетании с импульсным реактором позволяет контролировать значения энергии нейтронов до и после рассеяния только с помощью метода времени пролета, благодаря чему эффективно используется весь спектр нейтронов, испускаемых реактором, и достигается большая светосила.

Нетрадиционным элементом этого спектрометра является устройство для псевдослучайной модуляции интенсивности пучка нейтронов непосредственно перед попаданием на образец, который располагается на расстоянии  $L_1$  от реактора (рис. 5-1). Это устройство (статистический прерыватель) выполнено в виде диска из высокопрочного алюминиевого сплава, на края которого нанесен псевдослучайный ряд участков, поглощающих или пропускающих нейтроны. Длина ряда  $N = 127$ , размер одного участка  $50 \times 7,5 \text{ мм}^2$ . На расстоянии  $L_2$  от образца находится детектор, регистрирующий нейтроны, рассеянные под углом  $2\theta$ . В процессе накопления данных образуется функция двух переменных:

$Z(i, \kappa)$  - число событий в детекторе при заданных дискретных значениях  $i$  - полного времени пролета, отсчитываемого от старта реактора до момента регистрации, и  $\kappa$  - текущего номера элемента диска, находящегося в пучке в момент регистрации ( $i = 1 + 128\kappa$ ,  $\kappa = 1 + 127$ ).

Для заданного угла рассеяния закон рассеяния  $S(\vec{r}, \omega)$  может быть легко преобразован в "лабораторную" систему координат, используемую для накопления данных:

$$S(\vec{r}, \omega) \rightarrow S(E_0, E, \theta \dots) \rightarrow S(t_1, t_2) \rightarrow S_{i,j}, \quad (1)$$

где ... обозначает совокупность параметров, непосредственно не участвующих в процессе накопления. Время пролета рассеянным нейтроном второй пролетной базы  $t_2$  непосредственному измерению недоступно. Однако легко видеть, что

$$Z_{i,\kappa} = \sum_{j=1}^N a_{\kappa-j} S_{ij} + b_i, \quad (2)$$

где  $a_{\kappa-j}$  - функция пропускания прерывателя, принимающая значения 0 или 1. Если нейтрон был зарегистрирован в момент  $\kappa$  и обладал временем пролета  $t_2 = j$ , функцию пропускания  $a_{\kappa-j}$ , естественно, следует брать в момент  $\kappa-j$ . Величина  $b_i$  в (2) соответствует фону детектора, который не зависит от состояния прерывателя, но может зависеть от времени  $i$ .

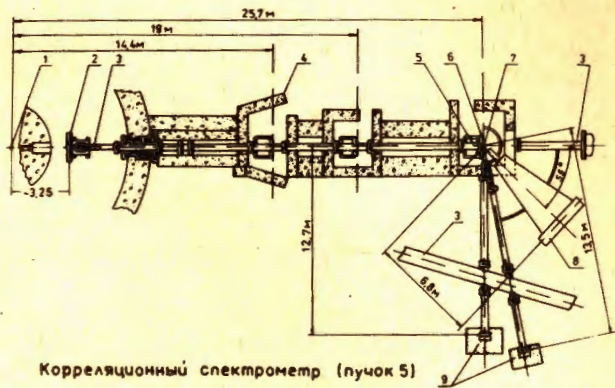
Если последовательность пропускания моделирующих участков  $\{a_i\}$  обладает следующим свойством:

$$Ca_a(\kappa) = \sum_{i=1}^N a_i a_{i+\kappa} = \begin{cases} m & \text{при } \kappa = 0, \pm N, \pm 2N \dots \\ \varphi m & \text{при остальных } \kappa, \end{cases} \quad (3)$$

где  $m = \sum a_i$  - число открытых участков,  $c = (m-1)/(N-1) \approx 0,5$ , то из соотношения (2) можно восстановить функцию  $S_{i,j}$  и  $S(\beta, \omega)$ :

$$S_{i,j} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^N \frac{a_{k-j} - c}{1-c} \cdot Z_{ik} + \frac{b_i}{m}. \quad (4)$$

Восстанавливаемое таким образом двумерное распределение имеет независимыми координатами два времени - полное время пролета от реактора до детектора  $t$  и время пролета второй базы  $t_2$ . Восстановленный двумерный спектр состоит из  $M$  ( $i = 1, M$ ) некоррелированных между собой сегментов, каждый из которых содержит  $N$  ( $j = 1, N$ ) точек. На рис. 5-2 изображены кривые постоянной передачи энергии на плоскости  $(M, N)$  при ширине канала полного времени пролета  $\Delta t = 128$  мкс и при ширине канала времени пролета второй пролетной базы  $\Delta t_2 = 80,8$  мкс ( $\Delta t_2$  - ширина элементарного временного окна статистического прерывателя при  $n = 3000$  об/мин). В области I не содержится информации ( $t > t_2$  всегда), и эту область от остальных разделяет прямая в плоскости  $(M, N)$ , проходящая че-



Корреляционный спектрометр (пучок 5)

Рис. 5-1. Схема корреляционного спектрометра. Цифрами обозначены: 1 - замедлитель реактора; 2 - дисковый прерыватель; 3 - вакуумированный нейтронный канал; 4 - биологическая защита; 5 - регулируемый коллиматор; 6 - статистический прерыватель; 7 - образец; 8 - поворотное плечо с детектором; 9 - стационарные детекторы.

рез начало координат и имеющая наклон  $\tan \beta = \Delta t / \Delta t_2$ . Области II принадлежат событиям, в которых нейтроны теряют энергию, области III - события, в которых нейтроны энергию приобретают. События упругого рассеяния располагаются на прямой в плоскости  $(M, N)$ , проходящей через начало координат и имеющей наклон  $\tan \alpha = \Delta t \cdot L_2 / (\Delta t_2 \cdot (L_1 + L_2))$ . На рис. 5-3 показана разрешающая способность по энергии спектрометра на плоскости  $(M, N)$ . Из этого рисунка следует, что хорошего разрешения можно достичь в холодной области спектра нейтронов. На рис. 5-4 изображены кривые постоянной передачи импульса, на рис. 5-5 - кривые постоянной разрешающей способности импульса на плоскости  $(M, N)$ .

Использование корреляционной техники приводит к значительному улучшению светосилы. Однако в результате корреляционной обработки

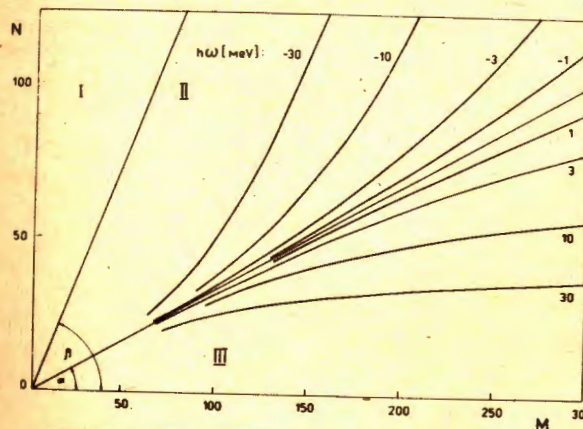


Рис. 5-2. Плоскость  $(M, N)$  с кривыми постоянной передачи энергии для спектрометра КОРА.

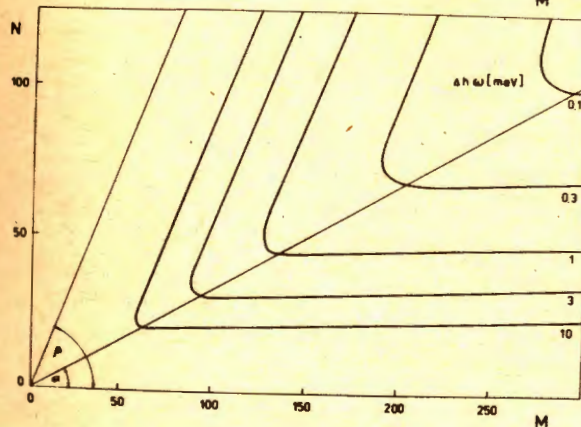
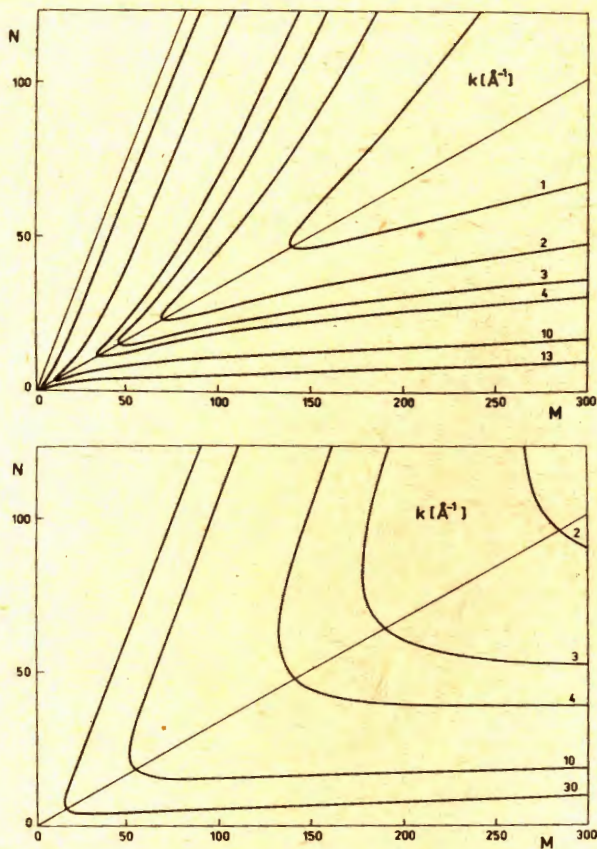


Рис. 5-3. Кривые постоянной разрешающей способности по энергии.



Рис.5-4. Кривые постоянной передачи импульса.  
Верхняя  $2\theta = 20^\circ$ ;  
нижняя  $2\theta = 90^\circ$ .



в каждом сегменте появляется так называемый корреляционный фон, который затрудняет обнаружение малоинтенсивного пика при наличии интенсивного пика в том же сегменте.

Основные характеристики спектрометра приведены в таблице 5-1.

Корреляционный спектрометр предназначен для исследований, требующих высокой светосилы при умеренном разрешении по переданной энергии. К числу таких исследований относятся и специфические случаи образцов с плохим отношением полезного сигнала к некоррелированному шуму (например, сильнопоглощающие материалы, образцы крайне малого объема и т.д.).

Ответственным за проведение исследований на спектрометре КОРА является П.Пахер.

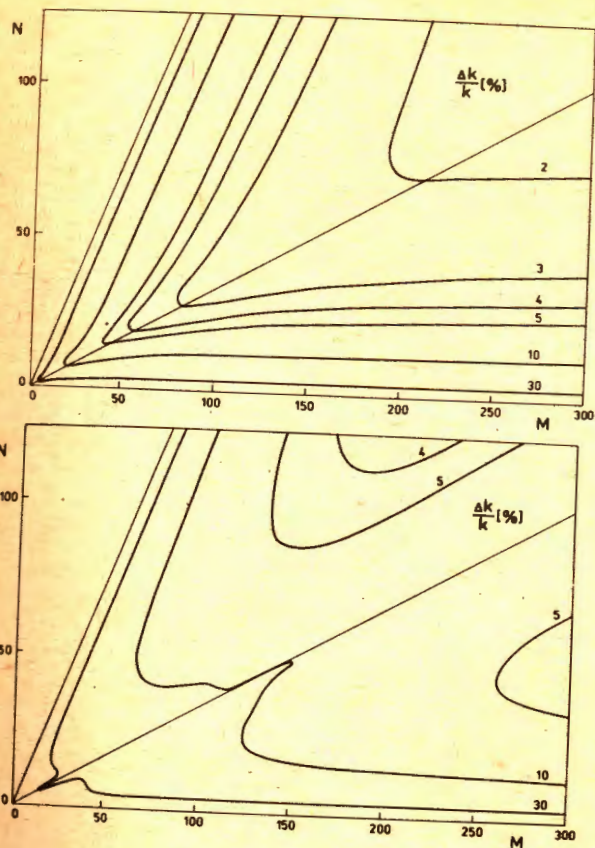


Рис.5-5. Кривые постоянной разрешающей способности по импульсу.  
Верхняя  $2\theta = 20^\circ$ ;  
нижняя  $2\theta = 90^\circ$ .

Таблица 5-1

Основные характеристики спектрометра КОРА

Поток тепловых нейтронов на образце ( $\omega = 2$ МВт, $c = 1/2$ ), $\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$	$1,5 \cdot 10^7$
Диапазон используемых $\lambda$ , Å.	0,7 + 4
Пролетная база $L_1$ , метры	25,7
Пролетная база $L_2$ , метры	6,8
Угол рассеяния, градусы	15+65, 75, 90
Сечение пучка на образце	$5 \times 0,75 \text{ см}^2$
Телесный угол образец - детектор: $2 \cdot 10^{-4}$	подвижный детектор
(стерадиан) $4,2 \cdot 10^{-5}$	стационарный $75^\circ$
$4,7 \cdot 10^{-5}$	стационарный $90^\circ$

Литература

I. Kroo N. et al. Proc.Symp.Inel.Scatt., Grenoble, IAEA, Vienna (1972).

## 6. Нейтронный дифрактометр ДН-2

Дифрактометр расположен на пучке 6-А. Первичный пучок формируется зеркальным нейтроноводом, состоящим из 25 прямых стеклянных секций с никелевым покрытием. Начальный и конечный участки нейтроновода длиной по 5 секций — прямые. Средняя часть нейтроновода образована из секций, развернутых на 3,2 угл.минуты, что соответствует радиусу кривизны 800 метров. Нейтроновод и место расположения образца находятся в бетонной защите, доступ к ним возможен только при закрытом шибере пучка. Общий вид дифрактометра показан на рис.6-1.

На расстоянии 24 м от замедлителя находятся основные механические узлы дифрактометра: платформа, поворотное плечо и гониометрическое устройство. На поворотной платформе, оснащенной I4-разрядным абсолютным датчиком угла поворота, можно расположить однокоординатный позиционно-чувствительный детектор с высокоомной нитью (ПЧД) или двухкоординатный нейтронный детектор матричного типа (ДНД). Дифрактометр оснащен двумя гониометрами: трехосным GKS-100 (ПНР) с взаимно перпендикулярными осями, и трехкружным У-230 (Англия) с зейлеровым расположением осей. Последний имеет управление от ЭВМ. На гониометре GKS-100 могут быть установлены криостат (4,2 - 300К) или высокотемпературная печь (300 - 900 К).

Электронная аппаратура ДН-2 включает 2 малых ЭВМ. Первая из них — местная, находится в экспериментальном зале, управляет гониометром, поворотным плечом и поддерживает связь со второй ЭВМ, находящейся в измерительно-вычислительном центре. Местная ЭВМ позволяет проводить накопление экспериментальных данных в память емкостью 4К слов. В ИВЦ работа дифрактометра поддерживается второй ЭВМ, располагающей для накопления экспериментальных данных памятью емкостью 128К слов. Она имеет выход в информационную сеть ИВЦ и позволяет одновременно вести как накопление, так и предварительную обработку данных.

Дифрактометр ДН-2 отличается от существующих дифрактометров на реакторах непрерывного действия в первую очередь тем, что в нем эффективно используется широкий спектр длин волн нейтронов. Это отличие определяет предпочтительные области применения. Наиболее подходящими для ДН-2 являются задачи, требующие регистрации  $S(\vec{x})$  в большом числе точек обратного пространства при малых и средних переданных импульсах, а также задачи, требующие большого полного потока нейтронов и умеренного разрешения.

Форма эффективного спектра нейтронов, т.е. поток на образце, умноженный на эффективность детектора, показана на рис.6-2. Его характерными особенностями являются крутой спад со стороны малых

длину волн (при  $\lambda \leq 1,5 \text{ \AA}$ ) и медленное уменьшение в диапазоне 5 + 12 А. Хорошие фоновые условия позволяют работать на ДН-2 с нейтронами, имеющими длину волны вплоть до 20 + 25 А. Именно в этой области измерялась интенсивность первого порядка отражения от мультислойной структуры дипальмитойллецитина (рис.6-3). Типичный дифракционный спектр от монокристалла приведен на рис.6-4 (отражение от плоскости 001 кристалла  $BaTi_2Co_2Fe_3O_{19}$ , имеющего период ядерной структуры 23,2 А и период спиральной магнитной структуры ~ 40А). Возможность регистрации двухкоординатных (при работе с ПЧД) или трехкоординатных (при работе с ДНД) спектров позволяет очень эффективно исследовать составные обратные решетки, возникающие при двойниковании кристаллов. Для измерения 3000 точек, по которым построено распределение интенсивности в узле (022) (рис.6-5) сегнетоэластика  $KD_3(SeO_3)_2$ , потребовалось всего 20 мин.

Описание дифрактометра и первых выполненных на нем экспериментов содержится в публикациях:

1. А.М.Балагуров и др. Нейтронный дифрактометр на импульсном реакторе ИБР-2. ОИЯИ, 3-84-291, Дубна, 1984.
2. Б.Н.Ананьев и др. Двухкоординатный детектор для нейтронного дифрактометра по времени пролета. ОИЯИ, П13-81-857, П13-81-858, Дубна, 1981.
3. А.М.Балагуров и др. Геометрия доменной структуры и зависимость угла спонтанного сдвига от температуры в сегнетоэластике  $KD_3(SeO_3)_2$ . ОИЯИ, 14-84-69, Дубна, 1984.
4. А.М.Балагуров, В.И.Горделий. Метод исследования структуры модельных и биологических мембран на нейтронном дифрактометре. ОИЯИ. Краткие сообщения, 1-84, Дубна, 1984.

Ответственными за проведение исследований на ДН-2 являются А.М.Балагуров и А.И.Бескровный.

Таблица 6-1. Основные параметры ДН-2

1. Поток нейтронов на образце при $\mathcal{W} = 2 \text{ МВт}$ .	$7,4 \cdot 10^6 \text{ н/см}^2/\text{с}$
2. Расстояние замедлитель-образец	23,8 м
образец-детектор	0,5 + 2,0 м
3. Максимальный размер пучка на образце	$2 \times 20 \text{ см}^2$
4. Диапазон по длине волны	1,2 + 25 А
по углу рассеяния	-10 + 160°
по межплоскостному расстоянию	0,6 + 120 А
5. Длительность импульса быстрых нейтронов (полная ширина на половине высоты)	215 мкс
То же для нейтронов с $\lambda = 2 + 20 \text{ \AA}$	320 мкс

(Продолжение таблицы 6-1.)

- |  |   |
|--|---|
| 6. Разрешение $\Delta d/d$ при $\theta = 80^\circ$ , $d = 5\text{\AA}$ | 1%  |
| при $\theta = 10^\circ$ , $d = 60\text{\AA}$                           | 10%   |
| 7. Однокоординатный детектор ( $^3\text{He}$ )                         |   |
| размеры  | $l = 25 \text{ см}, \varnothing 5 \text{ см}$ |
| число позиционных каналов  | 1 + 64  |
| число разрядов выходного кода  | 15  |
| неоднородность эффективности   | < 5% на 15 см                                 |
| позиционное разрешение   | 1 см  |
| 8. Двухкоординатный детектор ( $^3\text{He}$ )                         |   |
| размеры области регистрации  | 16 x 16 x 2,5 см <sup>3</sup>                 |
| число позиционных каналов  | 32 x 32 = 1024                                |
| однородность эффективности   | 6%  |
| позиционное разрешение   | 0,6 x 0,6 см                                  |

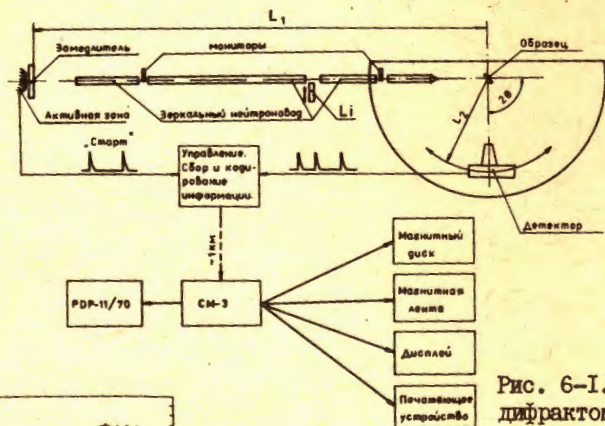


Рис. 6-1. Схема дифрактометра ДН-2.



Рис. 6-2. Зависимость потока нейтронов от длины волны, измеренная детектором с эффективностью  $\epsilon \sim \lambda$ .

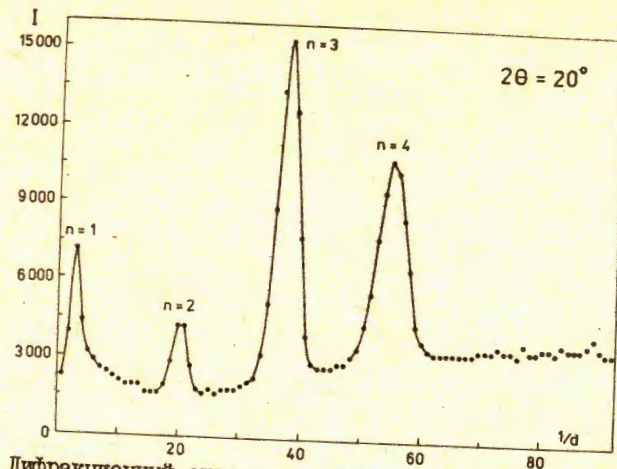


Рис. 6-3. Дифракционный спектр от дипальмитоиллецитина при относительной влажности 60%.  $n$  - номер порядка отражения;  $1/d$  - величина, пропорциональная волновому вектору нейтрона; масса образца  $\sim 10$  мг; время измерения 1 час.

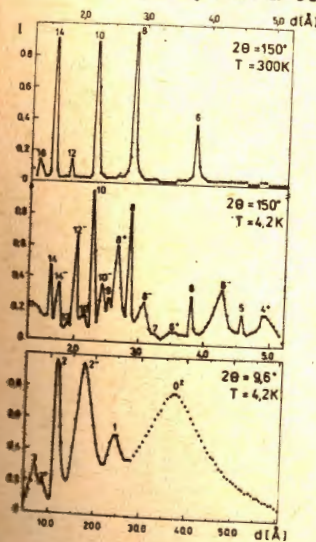


Рис. 6-4. Дифракционные спектры от монокристалла  $\text{BaTi}_2\text{Co}_2\text{Fe}_3\text{O}_{19}$

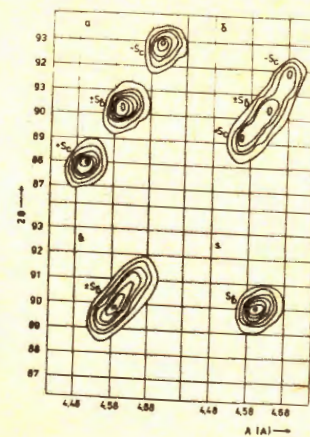


Рис. 6-5. Распределение интенсивности компонент в узле (022) кристалла  $\text{K}_2\text{O}_3(\text{SeO}_3)_2$ , находящегося в сегнетоэластической фазе.

### 7. Нейтронный спектрометр высокого разрешения (НСВР)

Спектрометр НСВР расположен на пучке № 7 на пролетной базе 33 метра от замедлителя ГЗ-7-II. Он предназначен для исследования упругого рассеяния нейтронов в поликристаллических и аморфных твердых телах и жидкостях. Описываемое расположение спектрометра - временное. В дальнейшем предполагается перенести спектрометр на 100-метровую базу на том же канале и дополнить его оборудованием, необходимым для исследования квазиупругого рассеяния. Схема спектрометра показана на рис.7-1. По основной платформе спектрометра диаметром 3,8 м передвигается подвижная платформа. Ось подвижной платформы одновременно служит осью столика образца. На подвижной платформе находятся 7 детекторных блоков на тележках, которые могут двигаться на угол  $\pm 14^\circ$ . Эти 7 детекторов охватывают в плоскости рассеяния угловой диапазон приблизительно  $90^\circ$ . Так как подвижная платформа тоже может передвигаться на  $90^\circ$ , доступный диапазон углов рассеяния от  $10^\circ$  до  $170^\circ$ . Горизонтальная коллимация падающего на образец пучка  $5'$ , вертикальная коллимация  $13,5'$ . Поток тепловых нейтронов на образце в настоящее время порядка  $2 \cdot 10^6$  н/см<sup>2</sup>·с при средней мощности реактора 2 МВт.

Детекторный бак содержит батарею из 7 гелиевых детекторов СНМ-17 и соллеровский коллиматор размером 40 x 180 x 500 мм<sup>3</sup>, минимальное расстояние между щелями коллиматора 1,25 мм. Спектрометр оборудован съемным трехосным текстурным гониометром, диаметр внутреннего кольца 250 мм.

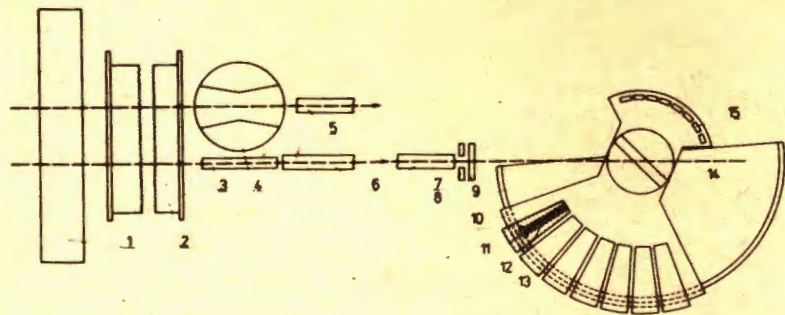


Рис.7-1. Схема спектрометра НСВР (проектный вариант).

1 - дисковый прерыватель; 2,3 - вакуумная трубка; 5,6 - зеркальные нейтронотводы  $2 \times 18$  см<sup>2</sup>; 7 - диафрагма; 8 - мониторный счетчик; 9 - основная платформа; 10 - подвижная платформа; 11 - детектор; 12 - соллеровский коллиматор; 13 - детекторный бак; 14 - гониометр; 15 - монокристаллы для исследования квазиупругого рассеяния.

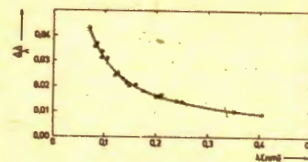


Рис.7-2. Разрешение  $\Delta \lambda / \lambda$  спектрометра НСВР на базе 33 м.

С помощью спектрометра НСВР можно проводить структурный и фазовый анализ поликристаллических образцов: текстурный анализ, особенно образцов низкой кристаллической симметрии (ниже кубической) или многофазных образцов; измерение когерентного структурного фактора аморфных или жидких образцов.

Подробное описание спектрометра содержится в публикации ЦИЯИ (Россендорф, ГДР):

W.Matz, K.Feldmann et al., "Texturuntersuchungen mit der Neutronenflugzeit-diffraction am Impulsreactor; Zfk- 452, Rossendorf bei Dresden, 1981.

Ответственным за проведение исследований на спектрометре является К.Фельдманн.

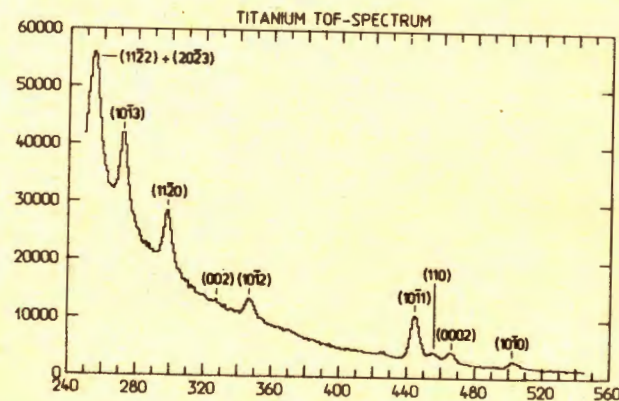


Рис.7-3. Спектр дифракции нейтронов на двухфазном образце  $Ti$ ; ширина временных каналов 64 мкс; время экспозиции - 10 часов;  $W = 1$  мт; содержание кубической фазы не более 10%.

### 8. Спектрометр поляризованных тепловых нейтронов по методу времени пролета (СПН-1)

Спектрометр предназначен для исследований магнитного взаимодействия тепловых нейтронов с веществом. Спектрометр размещен на 8-м канале реактора ИБР-2.

Основной отличительной чертой спектрометра является одновременное применение поляризации прямого пучка, метода времени пролета и анализа поляризации рассеянных нейтронов во всем спектральном интервале нейтронов. Это позволяет изучать часть сечения рассеяния, зависящую от ориентации спина нейтрона. Использование монохроматора, основанного на пространственном спиновом резонансе [1], позволяет изучать немагнитные неупругие процессы рассеяния нейтронов аналогично методу "прямой геометрии". В будущем предусматривается установка механического прерывателя пучка перед образцом, что позволит вести измерения как магнитных, так и немагнитных неупругих процессов.

#### Физические характеристики спектрометра

Пролетные базы: а) до образца - 29,2 м; б) до детектора - 37 м. Первичная монохроматизация пучка  $\Delta\lambda/\lambda = 2,8 \cdot 10^{-2}/\lambda$  ( $\lambda$  - в Å). Интегральный по спектру поток нейтронов на образце  $-1,2 \cdot 10^6$  н/см<sup>2</sup>·с ( $W = 2$  МВт). Сечение пучка на образце  $\leq 3 \times 60$  мм<sup>2</sup>.

Спектр нейтронов на образце имеет три характерные значения длин волн:  $\lambda_{min}$  - длина волны, с которой начинается резкое возрастание интенсивности,  $\lambda_{max}$  - длина волны, соответствующая максимуму спектра,  $\lambda_{2\phi}$  - наибольшая длина волны, при которой интенсивность в два раза превышает фон. Для среднего положения нейтронвода-поляризатора (поз. I рис. 8-1):  $\lambda_{min} = 0,7$  Å;  $\lambda_{max} = 1,8$  Å;  $\lambda_{2\phi} = 7,5$  Å. Разворотом поляризатора значения  $\lambda_{min}$ ,  $\lambda_{max}$ ,  $\lambda_{2\phi}$  изменяются в сторону больших значений. Среднее по спектру значение поляризации пучка 94%.

Основные элементы спектрометра показаны на рис. 8-1.

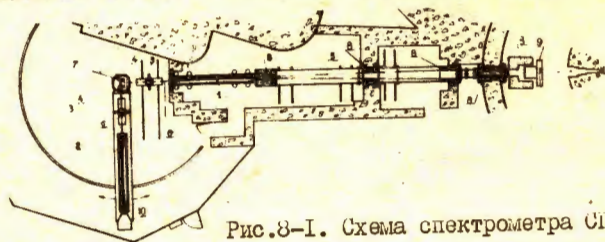


Рис. 8-1. Схема спектрометра СИН-I.

- 1 - зеркальный изогнутый Fe-Co нейтронвод-поляризатор на востировочных столах [2,3], формирует пучок поляризованных нейтронов. Длина - 5 м, сечение окна 2,5 x 60 мм<sup>2</sup>; радиус изгиба - 1 км. Напряженность магнитного поля постоянных магнитов - 500 эрстед.
- 2 - зеркальный изогнутый Fe-Co нейтронвод-анализатор, размещенный на поворотной платформе. Осуществляет анализ поляризации пучка рассеянных образцом нейтронов. Конструктивно идентичен по-

ляризатору. Интервал углов поворота платформы -  $15^\circ + 130^\circ$ . Установка углов платформы - автоматическая, точность установки -  $2,5' / 4'$ .

- 3 - спин-флипперы [5,6]. Реверсируют направление вектора поляризации нейтронов в падающем и рассеянном пучках. Средняя по спектру эффективность реверса - 0,995;
- 4 - система электромагнитов - осуществляет адиабатическую проводку спина нейтронов до и после образца. Высота зазора магнитов - 130 мм, напряженность поля в зазоре от 0 до 290 Э;
- 5 - конический зеркальный нейтронвод в вакуумируемой трубе  $\phi$  800 - формирует пучок нейтронов на входе в поляризатор, увеличивает эффективную апертуру установки. Длина - 11,5 метра, ширина входного окна - 11 мм, ширина выходного окна - 3 мм, высота - 150 мм, на отражающую поверхность напылен Ni;
- 6 - зеркальные нейтронводные приставки - исключают потери нейтронов, обусловленные угловой расходимостью пучка на участке между поляризатором и анализатором. Длина - 2 метра, сечение окна -  $2,7 \times 80$  мм<sup>2</sup>, отражающий напыленный слой - Cu;
- 7 - автоматический трехосный гониометр с электромагнитом. Осуществляет поворот образца вокруг трех ортогональных осей, намагничивает образец. Установка углов осуществляется автоматически с точностью  $36''$  в пределах: вокруг вертикальной оси (Z)  $\pm 180^\circ$ ; вокруг горизонтальных осей (X) и (Y) на  $\pm 90^\circ$  и  $\pm 15^\circ$  соответственно. Максимальный зазор между полюсами электромагнита - 80 мм. Максимальное значение напряженности магнитного поля в зазоре 25 мм - 15000 эрстед. Ось Z гониометра совмещена с осью вращения поворотной платформы;
- 8 - коллиматоры;
- 9 - двухдисковый прерыватель нейтронного пучка - формирует спектральный интервал полезных нейтронов на образце, снижает фон от сателлитных вспышек реактора. Будет размещен на расстоянии 4,25 м от реактора. Диаметр дисков 1350 мм, скорость вращения от 300 до 900 оборотов в минуту. Вращение дисков - встречное;
- 10 - гелиевый детектор нейтронов. Расположен на выходе из анализатора, внутри блока защиты.

Спектрометр начал функционировать в I половине 1984 года.

Ответственный за исследования на спектрометре Д.А.Корнеев.

#### Литература

1. Д.А.Корнеев, А.В.Петренко. ОИЯИ, РЗ-83-182, Дубна, 1983.
2. Д.А.Корнеев, В.В.Паски, Х.Ржани, А.Ф.Щебетов. ОИЯИ, РЗ-81-546, Дубна, 1981.

3. Д.А.Корнеев, В.В.Пасжк, Х.Ржаны, А.Ф.Щебетов. ОИЯИ, РЗ-81-547, Дубна, 1981.
4. Р.Билькенрот и др. ОИЯИ, II-83-53I, Дубна, 1983.
5. Д.А.Корнеев. ОИЯИ, Р13-12362, Дубна, 1979; Nucl.Instr. and Methods, 1980, 169; p.65, 69.
6. Д.А.Корнеев, В.А.Кудряшов. ОИЯИ, РЗ-80-350, Дубна, 1980; Nucl.Instr.Meth., 1981, 179, p.509.

### 9. Спектрометр КДСОГ-М

Краковско-дубненский спектрометр обратной геометрии (КДСОГ-М) расположен на 10 канале реактора ИБР-2, на расстоянии 29,68 м от замедлителя. Метод обратной геометрии заключается в том, что на образец падает белый спектр нейтронов от импульсного источника, а регистрируются монохроматические нейтроны после рассеяния. Энергия нейтронов, падающих на образец, анализируется по времени пролета базы "Источник-образец". Первичный пучок проводится с помощью вакуумного нейтропровода и формируется коллиматорами. Наибольший размер пучка на образце составляет  $120 \times 160 \text{ мм}^2$ , горизонтальная коллимация -  $50^\circ$ . Установленный на расстоянии 8,8 м от замедлителя вращающийся прерыватель позволяет эффективно подавлять фон запаздывающих нейтронов. Нейтроновод и спектрометр окружены биологической бетонной защитой. Доступ к образцу возможен только при полностью закрытом шибере.

Механическая часть спектрометра (рис.9-1) состоит из двух поворотных плеч: для измерений неупругого рассеяния нейтронов и для измерений дифракции. В каждом плече установлено по четыре детектора с шагом  $20^\circ$ . Диапазон доступных углов рассеяния составляет  $30^\circ - 150^\circ$ . Детекторы собраны из пропорциональных счетчиков СМ-17. Размер окна дифракции равен  $50 \times 100 \text{ мм}^2$ , угловая расходимость пучка -  $1^\circ$ . Плечо для измерений неупругого рассеяния нейтронов оборудовано охлаждаемым азотом бериллиевым фильтром-коллиматором общей толщиной 240 мм. Горизонтальная коллимация пучка составляет  $2^\circ$ . За фильтром располагаются кристаллические анализаторы. Каждый анализатор собран из трех монокристаллов цинка мозаичностью  $1,5^\circ$  ( $d_{001} = 2,4728 \text{ \AA}$ ) или двенадцати пластин пиролютического графита, примерно, такой же мозаичности ( $d_{002} = 3,3668 \text{ \AA}$ ). Расположение анализатора за фильтром позволяет в довольно широких пределах менять разрешение установки. Это достигается установкой детекторов либо сразу за бериллиевым фильтром, либо так, что регистрируемые нейтроны попадают в детектор после прохождения фильтра и отражения от монокристалла.

Спектры дифракции и неупругого рассеяния нейтронов измеряются на двумерном временном анализаторе по схеме "Время пролета - номер детектора". Блоки анализатора выполнены в стандарте КАМАК и управляются микропроцессорным контроллером крейта ККМ1-7207-2. Анализатор и вся детекторная часть электроники спектрометра КДСОГ-М находится вблизи биологической защиты установки в экспериментальном зале ИБР-2. Дистанционное управление анализатором и передача массивов данных в мини-ЭВМ СМ-3, установленную в измерительном центре ЛНФ, осуществляется с помощью блоков последовательной связи КАМАК-КАМАК типа I47I. Дистанционное управление позволяет выполнять все операции, необходимые для измерения спектров, контролировать ход набора данных на дисплее измерительного модуля и записывать массивы экспериментальных данных на магнитный диск.

Спектрометр располагает 4-мя криостатами: 3 из них позволяют поддерживать заданную температуру образца в диапазоне 5К - 300К и один - 80К - 500К. Точность поддержания температуры составляет  $\pm 0,2\text{К}$ .

Спектрометр наиболее эффективен для исследований некогерентно рассеивающих образцов при низких температурах. Возможны одновременные измерения дифракции, неупругого и квазиупругого рассеяния.

Основные параметры установки КДСОГ-М приведены в табл.9-1 и 9-2.

На рис.9-2 представлены результаты измерения спектров неупругого некогерентного рассеяния нейтронов (ННРН) на образцах  $ZrH_x$  ( $x = 0,8; 1,2; 1,6; 2,0$ ). Масса образцов составляла около 50 г, время измерений для цинковых монокристаллов составляло около 20 часов при средней мощности реактора 1 МВт. Произведены вычитание фона и суммирование по 4 углам рассеяния. Одновременно полученные спектры дифракции (рис.9-3) позволяют определить фазовый состав образцов.

На рис.9-4 показаны результаты измерений спектров ННРН на образце суперионного проводника  $CsHSO_4$  при различных температурах.

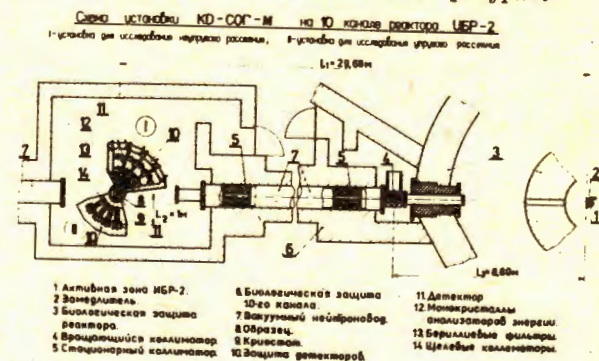


Рис.9-1. Схема спектрометра КДСОГ-М.

На рис.9-5 приведены спектры дифракции от разных фаз  $CsHSO_4$ .

Высокая светосила спектрометра позволяет исследовать колебания адсорбированных молекул на поверхности катализатора при малых концентрациях адсорбента. На рис.9-6 показаны спектры колебаний параксилола, адсорбированного на цеолите типа ХТЗ для различных концентраций.

Более детальные характеристики установки КДСОГ-М и результаты первых экспериментов изложены в следующих публикациях:

1. Г.Балука и др. Спектрометр обратной геометрии КДСОГ-М на реакторе ИБР-2. ОИЯИ, РГЗ-84-242, Дубна, 1984.
2. Г.Балука и др. Двухмерный анализатор "Время- номер детектора" на основе мини-ЭВМ для нейтронного спектрометра КДСОГ-М. ОИЯИ, ГЗ-82-367, Дубна, 1982.
3. Г.Балука и др. Дистанционно-управляемый анализатор с распределенным интеллектом для нейтронного спектрометра КДСОГ-М. ОИЯИ, ГГ-84-252, Дубна, 1984.
4. А.В.Белушкин и др. Исследование гидридов циркония методом неупругого рассеяния и дифракции нейтронов. ОИЯИ, РГ4-84-243, Дубна, 1984.
5. А.В.Белушкин и др. Исследование фазовых переходов в суперионном проводнике  $CsHSO_4$  методом рассеяния нейтронов. ОИЯИ, РГ4-83-855, Дубна, 1983.

Ответственными за проведение экспериментов на спектрометре КДСОГ-М являются С.И.Брагин и И.Натканец.

Таблица 9-1

Технические характеристики спектрометра КДСОГ-М.

Расстояние реактор - образец	29,68 м
Максимальное сечение пучка	120x160 мм <sup>2</sup>
Коллимация падающего пучка	50'
Расстояние образец - детектор	
дифракция	1,02 м
неупругое рассеяние	1,05м - 1,525м
Коллимация рассеянного пучка	
дифракция	0,5° - 2°
неупругое рассеяние	1° - 4°
Количество детекторов	
дифракция	4
неупругое рассеяние	4
Диапазон углов измерения	30° - 150°
Расстояние реактор - вращающийся прерыватель	8,8 м
Скорость вращения прерывателя	750 об/мин
Частота открывания пучка	25 Гц
Уменьшение фона запаздывающих нейтронов	500 раз

Таблица 9-2

Физические характеристики спектрометра КДСОГ-М.

Средний поток тепловых нейтронов на образце при мощности реактора ИБР-2 2 МВт	$1,3 \cdot 10^7 \text{ н/см}^2 \cdot \text{с}$
Интервал анализируемых длин волн	0,4 + 4,5 Å
Временное разрешение $\Delta t/t = \Delta \lambda/\lambda$ в интервале $\lambda = 0,4 \text{ Å}$ до $\lambda = 4,5 \text{ Å}$	7 + 1%
Доступный интервал переданных импульсов в режиме дифракции нейтронов (от $\lambda = 4,5 \text{ Å}$ при $2\theta = 30^\circ$ до $\lambda = 0,4 \text{ Å}$ при $2\theta = 150^\circ$ )	0,7 + 30 Å <sup>-1</sup>
Разрешающая способность при дифракционных измерениях: $ \Delta d/d  =  \Delta \lambda/\lambda  +  \text{ctg} \theta \cdot \Delta \theta $	
а) $\lambda = (0,4+4,5) \text{ Å}$ , $2\theta = 30^\circ$ , $\Delta \theta = 1^\circ$	14 + 7,5%
б) $\lambda = (0,4+4,5) \text{ Å}$ , $2\theta = 150^\circ$ , $\Delta \theta = 1^\circ$	7,5 + 1,5%
Конечная энергия регистрируемых нейтронов для неупругого рассеяния	4 + 5 мэВ
Доступный интервал переданных энергий	1 + 500 мэВ
Энергетическое разрешение неупругого рассеяния для передачи энергии в интервале 10 + 500 мэВ,	
а) бериллиевый фильтр	12 + 30%
б) графитовый анализатор	5 + 18%
в) цинковый анализатор	4 + 18%

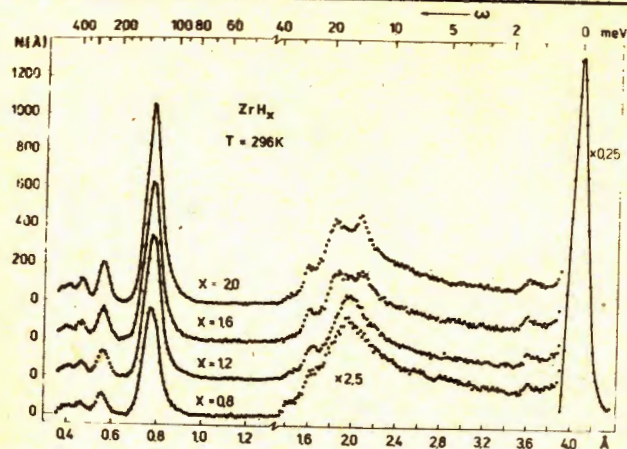


Рис.9-2. Экспериментальные времяпролетные спектры ННР на образцах гидридов циркония.

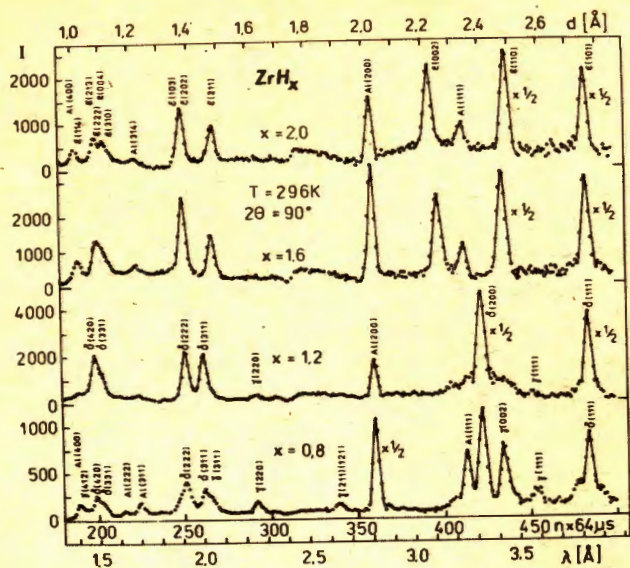


Рис.9-3. Спектры дифракции от образцов гидридов циркония для угла рассеяния  $2\theta = 90^\circ$ . Индексы  $\rho, \sigma, \Sigma$  обозначают разные фазы гидридов.

Рис.9-6. Спектры ННРН от параксилола ( $p\text{-C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ ), адсорбированного на цеолите (тип Х13, активированный кобальтом). Количество адсорбата (мл параксилола/100 г цеолита): (2-1) - 3; (3-1) - 6; (4-1) - 10; (5-4) - добавочные 10 к 10 уже адсорбированным.

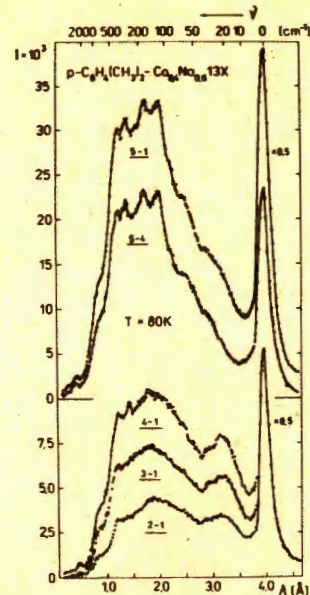


Рис.9-4. Экспериментальные спектры ННРН от образца  $\text{CsHSO}_4$  при различных температурах.

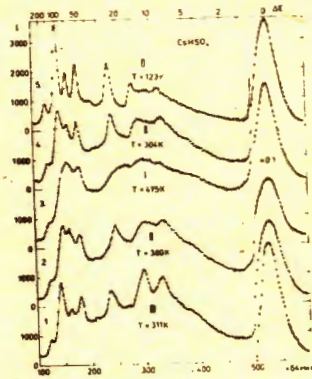
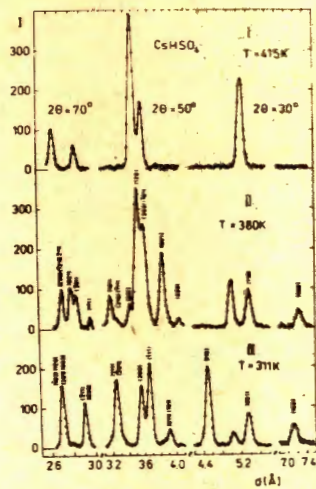


Рис.9-5. Спектры дифракции от трех фаз  $\text{CsHSO}_4$ . Фаза I обладает суперионной проводимостью.



#### 10. Биофизический канал (БФК) (пучок II)

БФК предназначен для радиационных исследований (радиобиология, импульсный радиолитз твердых тел и жидкостей), радиографии и элементного анализа с использованием  $(n, \alpha)$ ,  $(n, \rho)$  и  $(n, \gamma)$ -реакций  $^{1,2}$ . Для этих целей БФК имеет три позиции для облучения образцов. Позиция № I расположена в 300 см от активной зоны (в кольцевом коридоре в 20 см от шибера). Образцы в эту точку доставляются смятым воздухом в полиэтиленовых транспортных контейнерах "Регаты". Одновременно можно облучать до 7 контейнеров. Мощностью дозы нейтронного и гамма-излучений в этой позиции можно управлять неполным открытием шибера.

Позиция № 2 расположена в 720 см от активной зоны вплотную к дополнительной защите реактора. Она имеет экспериментальный павильон для размещения экспериментального оборудования. В экспериментальный павильон нейтроны и гамма-лучи выводятся через "сменный коллиматор", который позволяет дистанционно и быстро устанавливать любой из 4 коллиматоров, один из которых вращающийся. "Сменный коллиматор" позволяет формировать поля излучения сечением  $20 \times 15 \text{ см}^2$ ,  $5 \times 5 \text{ см}^2$ . Вращающийся коллиматор с полем  $5 \times 5 \text{ см}^2$  используется для дискретного (2,5; 1,67; 1,25; 1,0; 0,83; 0,71; 0,625) уменьшения частоты следования импульсов реактора на образце, а также для уменьшения



фона между импульсами реактора. В кольцевом коридоре располагаются фильтры из полиэтилена с бором, свинца и  $B_4C$ . Механизм для перестановки фильтров выполнен в виде трех дисков, независимо поворачиваемых с шагом  $90^\circ$ . На каждом диске имеется 4 отверстия  $\phi$  300 мм, в три из которых вставляются фильтры из одного и того же материала, но различной толщины. Имеется следующий набор толщин: для полиэтилена и свинца – 60, 40 и 20 мм, для  $B_4C$  – 40, 20 и 10 мм. С помощью этого механизма быстро выбирается состав фильтра с необходимой функцией пропускания нейтронов и гамма-лучей.

В позицию № 3 выводятся только тепловые нейтроны с помощью изогнутого зеркального нейтроновода <sup>13/</sup>. Он представляет собой 20-метровую трубку прямоугольного сечения  $1,5 \times 15 \text{ см}^2$ . Зеркальный нейтроновод изготовлен из стекла "Float" с никелевым покрытием. Характеристики пучков в трех позициях при мощности реактора 2 МВт представлены в таблице 10-1.

Таблица 10-1

№ позиции	Фильтр или положение шибера	Средняя мощность дозы, Грей/мин		Плотность потока нейтронов, н/см <sup>2</sup> .с	
		нейтроны	гамма-лучи	тепловых	резонансных
I	Шибер открыт полностью	30	7,2	$(60 \pm 5) \cdot 10^8$	$(40 \pm 5) \cdot 10^7$
I	Открыт на 1/4	7,8	1,3	не измерялись	
2	Без фильтров	1,05	0,26	$(1,9 \pm 0,2) \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 0,15) \cdot 10^7$
2	1 см $B_4C$ + 4 см Pb	0,4	0,0082	нет	$< 10^4$
2	2 см $CH_2$ + 6 см Pb	0,18	0,0044	нет	$< 10^3$
3	Без фильтров	не измерялись		$(2,5 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^4$

Для позиции 2 характеристики получены с коллиматорами  $20 \times 15 \text{ см}^2$  и  $10 \times 10 \text{ см}^2$ . С коллиматором  $5 \times 5 \text{ см}^2$  все параметры в 2 раза меньше. Средняя энергия быстрых нейтронов ( $E > 0,5 \text{ МэВ}$ ) в позициях I и 2 без фильтров – 1,35 МэВ, а, например, с фильтром из 2 см полиэтилена с бором и 6 см свинца – 2,8 МэВ. Средние энергии получены из измерений методом пороговых индикаторов.

Приведенные в таблице 10-1 абсолютные значения мощностей доз измерены ионизационными камерами и кремниевыми диодами с ошибкой не более 10%.

Радиобиологические исследования проводятся в позициях I и 2 по методикам, описанным в <sup>14,5,6,7/</sup>. Импульсный радиолитз планируется проводить там же. Для радиографии используются пучки тепловых ней-

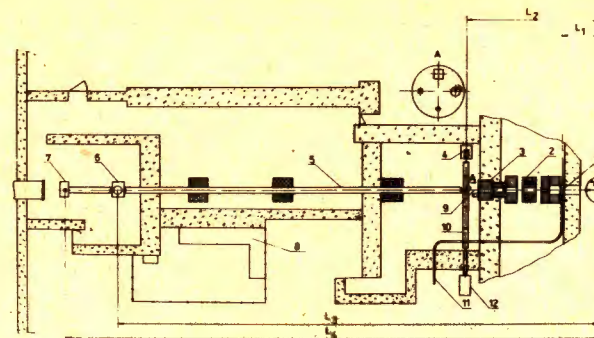


Рис. 10-1. Схема биофизического канала.

I – первая позиция; 2 – фильтры; 3 – механизм сменных коллиматоров; 4 – импульсный источник света; 5 – зеркальный нейтроновод; 6 –  $Ge(Li)$ -детектор (3-я позиция облучения); 7 – место для радиографии; 8 – пульт управления и измерения; 9 – вторая позиция облучения; 10 – оптическая скамья; II – пневмотранспорт; 12 – спектрофотометр;  
 $L_1$  – 3,0 м;  $L_2$  – 7,2 м;  $L_3$  – 25,7 м;  $L_4$  – 28,0 м.

ронов в позициях 2 и 3. Элементный анализ по  $(n, \gamma)$ -реакции на содержание  $B, Cd$  и  $6d$  опробован в 3-й позиции. Чувствительность анализа на эти элементы с  $Ge(Li)$ -детектором объемом  $40 \text{ см}^3$  лежит в пределах 10 – 100 мкг. Например, на анализ боросодержащих пород с концентрацией 10–15 мкг/г бора при навеске 5 г затрачивается 10 минут. В позициях I и 2 освоены и используются методики анализа золотосодержащих пород на  $Au, As$  и  $Sb$ , с навесками до 8 г в I-й позиции и до 50 г во второй. При времени облучения 15–20 часов чувствительность анализа  $2 \cdot 10^{-8} \text{ г/г}$ . При этом в позиции I одновременно облучается 7 образцов, в позиции 2 – до 20.

Ответственными за проведение исследований на БФЖ являются В.М.Назаров и О.В.Комова.

#### Литература

1. В.М.Назаров, Ю.М.Останевич. 3-е совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, Р18-12147, с.47, Дубна, 1979.
2. В.И.Луциков, И.М.Франк. IY совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, Р18-82-117, с.15, Дубна, 1982.
3. В.В.Корнилов и др. Нейтронная физика. Материалы 5-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике, часть 4, с.158, Дубна, 1980.

4. Э.Гацек и др. ОИЯИ, I9-83-509, Дубна, 1983.
5. G.Erzgraber, I.L.Lapicidus, H.Abel. JINR, E 19-83-493, Dubna, 1983.
6. Г.Эрцгребер и др. ОИЯИ, I9-83-49I, Дубна, 1983.
7. И.Л. Лапидус и др. ОИЯИ, PI9-84-286, Дубна, 1984.

## II. Каналы для облучения и пневмотранспортная система

Для проведения активационного анализа, радиационных исследований и получения радиоактивных изотопов реактор ИБР-2 оборудован четырьмя каналами для облучения образцов. Два канала (I и 2) расположены у торцов гребенчатого замедлителя, просматриваемого 4,5 и 6 пучками реактора. Канал 3 расположен в центре активной зоны (пока не используется), а 4 - в замедлителе, расположенном за подвижным отражателем. Характеристики каналов для облучения при мощности реактора 2,0 МВт приведены ниже.

Таблица II-I.

№ канала	Плотность потока нейтронов, $n/(cm^2 \cdot c) \cdot 10^{12}$			$t, ^\circ C$	Диаметр канала, мм	Примечания
	тепловые	резонансные	быстрые			
I	$1,9^{+0,14}$	$0,23^{+0,3}$	$1,4^{+0,16}$	70	28	эксперим. данные
2	$0,54^{+0,06}$	$0,12^{+0,014}$	$0,64^{+0,04}$	50	28	эксперим. данные
3	$10^5$	0,015	180	400	16	расчетные данные
4	$4,0^{+0,5}$	$0,4^{+0,04}$	$4,2^{+0,5}$	30-40	30	эксперим. данные

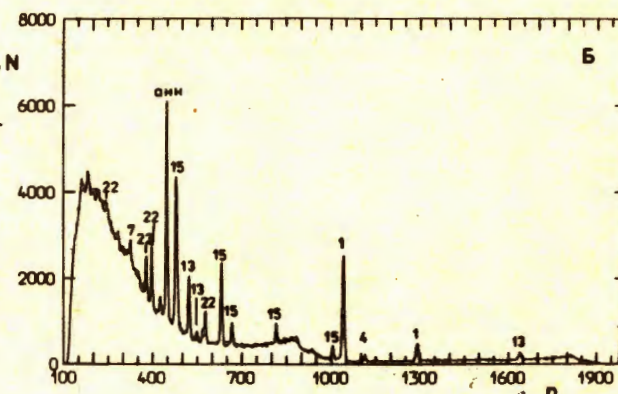
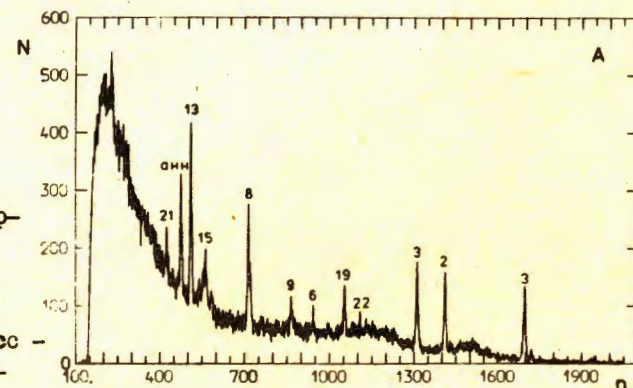
Все перечисленные каналы внутри сухие, I и 2 канала охлаждаются воздухом, 3 - натрием, 4 - водой. Подача образцов в каналы I и 2 осуществляется системой пневмотранспорта "Регата". Блоки загрузки, выгрузки, измерения и перепаковки расположены вдали от реактора (длина трассы 30-40 м) и размещены в 2 специальных помещениях. Время транспортировки образцов на облучение или обратно 5 - 10 с. В каждом канале можно облучать одновременно до 5 контейнеров. Время облучения образцов в полиэтиленовых контейнерах ограничивается радиационной стойкостью полиэтилена и составляет при мощности реактора 2 МВт 30 мин. Более длительные облучения образцов производятся в алюминиевых контейнерах.

Установка "Регата" снабжена автоматами для быстрого (1,5 с) извлечения капсул с облучаемой пробой из полиэтиленовых транспорт-

ных контейнеров. Часто транспортный контейнер используется как рабочая капсула. Внутренний объем его около  $5 \text{ см}^3$  при внешнем диаметре 26 мм. Алюминиевые контейнеры по размерам близки к полиэтиленовым, но имеют в 2,5 раза больший полезный объем.

Для целей активационного анализа установка "Регата" снабжена измерительно-вычислительным модулем на базе ЭВМ МЕГА-60 с тремя независимыми трактами амплитудного анализа. Один из них располагает программой управления проботкой "Регаты", которая позволяет поочередно измерять и обрабатывать до 32 образцов. При наличии эталонного спектра программа выдает данные о составе анализируемых проб по тем элементам, которые присутствуют в эталоне. Более полная обработка гамма-спектров осуществляется на ЭВМ PDP-II/70 по программам ACTIV <sup>1/1</sup> и SAMPO <sup>1/2</sup>.

Рис. II-I. Аппаратурные гамма-спектры активированных образцов волос человека. По оси абсцисс энергия гамма-квантов (произ. единицы), по оси ординат - число событий ( $Ge(Li)$  детектор,  $N 50 \text{ см}^3$ ). Цифрами отмечены пики, соответствующие нумерации химических элементов в табл. II-2; "0-1-1" - пик аннигиляции позитронов. Условия измерения кривых А и Б описаны в тексте.



В таблице II-2 и на рисунке II-1 показаны, в качестве примера, результаты элементного анализа волос человека на установке "Регата". Образец (вес 0,2 г) активировался тепловыми и резонансными нейтронами. Спектр А (см.рис.II-1) измерен после 5-минутной выдержки при 5-минутном облучении, спектр Б - после 5 суток выдержки, продолжительность активации 4 часа.

Таблица II-2

Анализируемый радионуклид	Диапазон концентраций элемента, PPM( $10^{-6}$ г/г)	Анализируемый радионуклид	Диапазон концентраций элемента, PPM ( $10^{-6}$ г/г)
I 24 Na	140 + 1100	I3 $^{76}As$ *	2,0 + 20
2 28 Al	100 + 400	I4 $^{75}Se$ *	0,4 + 8,0
3 38 Cl	100 + 700	I5 $^{82}Br$ *	7 + 35
4 $^{48}K$	110 + 430	I6 $^{88}Rb$	15
5 $^{46}Sc$	0,06 + 1,0	I7 $^{110m}Ag$ *	0,6 + 10
6 $^{52}V$	0,4 + 5,0	I8 $^{113m}Cd$ *	6 + 90
7 $^{51}Cr$	10 + 200	I9 $^{116m}In$ *	0,13 + 0,3
8 $^{56}Mn$	3,0 + 9,0	20 $^{124}Sb$ *	2,0 + 10
9 $^{59}Fe$	1000 + 6000	21 $^{128}I$ *	0,1 + 10
10 $^{60}Co$	1,2 + 8,7	22 $^{187}W$ *	0,1 + 2,6
11 $^{66}Cu$	8 + 30	23 $^{198}Au$ *	0,2 + 1,5
12 $^{65}Zn$	400 + 2600	24 $^{203}Hg$	8 + 10

\* - Активация определяется резонансными нейтронами.

Канал 4, так же, как в будущем и 3, используется для радиационных исследований при флюенсах нейтронов больше  $10^{17}$  н/см<sup>2</sup>. Загрузка и выгрузка образцов в них осуществляются механическими захватами при остановленном реакторе. Для работы с высокоактивными образцами на ИБР-2 имеются три горячие камеры.

Ответственными за исследования с помощью каналов облучения являются В.М.Назаров и М.В.Фронтасьева.

#### Литература

1. V.B.Zlokazov. Comp.Phys.Comm. 28 (1982) 27 - 40.
2. J.T.Routti and S.G.Prussin. Nucl. Instr. and Meth. 72 (1969) 125.

#### 12. Измерительный центр

Измерительный центр лаборатории обеспечивает экспериментальные исследования на реакторе ИБР-2 электронной и вычислительной техникой. Большинство спектрометров имеют индивидуальные измеритель-

ные модули, расположенные в здании измерительного центра (~ 800 метров от экспериментальных установок). В состав измерительного модуля входят мини- или микро-ЭВМ и аппаратура в стандарте КАМАК. Типы используемых ЭВМ: СМ-3, СМ-4, МЕГА-60 на основе процессора "Электроника-60", с разнообразным периферийным оборудованием, состав которого определяется нуждами эксперимента.

Измерительные модули объединены в сеть, которая в качестве центральной машины использует PDP-II/70. На ней осуществляется обработка экспериментальных данных и их архивирование. Основные характеристики центральной машины отражены в таблице I2-1.

К числу функций малых машин относятся собственно проведение эксперимента (контроль, управление), диалог с экспериментатором (формулировка задания, визуализация накопленного материала, диагностика ошибочных ситуаций) и кратковременное хранение накопленного материала (до пересылки в центральный архив). Оборудование КАМАК к малым машинам подключено с помощью контроллеров крейта типа IO6 (производство ПНР, аналог СС-II, ЦЕРН).

В качестве машинных носителей для переноса информации на другие ЭВМ используются:

- магнитная лента 9-дорожечная, длиной до 2400 футов (~ 750 метров), плотность записи 800 бит/дюйм, стандарт записи NRZI;

- односторонние гибкие диски, соответствующие ISO/TC97/СII N 209 (диаметр 8 дюймов), единичная плотность записи, емкость 2,05 мегабит;

- съемные дисковые кассеты типа IBM 5440, емкость пластин 2,5 мегабайт, стандарт записи "двойная частота" (DF).

Более подробную информацию могут представить:

- по техническим вопросам В.А.Владимиров,
- по программному обеспечению И.М.Саламатин.

Таблица I2-1

#### Некоторые характеристики центральной ЭВМ

Оперативная память	2,25 Мбайт
Дисковая память	800 Мбайт
Накопители на магнитных лентах	5 комплектов
Терминальная система	16 терминалов
Операционные системы	IAS, RSX-11M+
Доступные языки программирования	ФОРТРАН-4, ФОРТРАН-4+, ФОРТРАН-77, ПАСКАЛЬ, СИ.

### Д-1. Установка ДИФРАН

Прецизионный дифрактометр с идеальными кристаллами (установка ДИФРАН) предназначен для изучения нейтронно-оптических явлений по методу времени пролета.

Установка расположена на пучке № I на пролетной базе 25,25 м от эффективной поверхности замедлителя. Ось пучка направлена на замедлитель ГЗ-4-6 под углом  $90^\circ$  от нормали к эффективной поверхности гребенчатого замедлителя (тангенциальный канал).

Механическое оборудование установки состоит из следующих основных узлов (рис. Д-1):

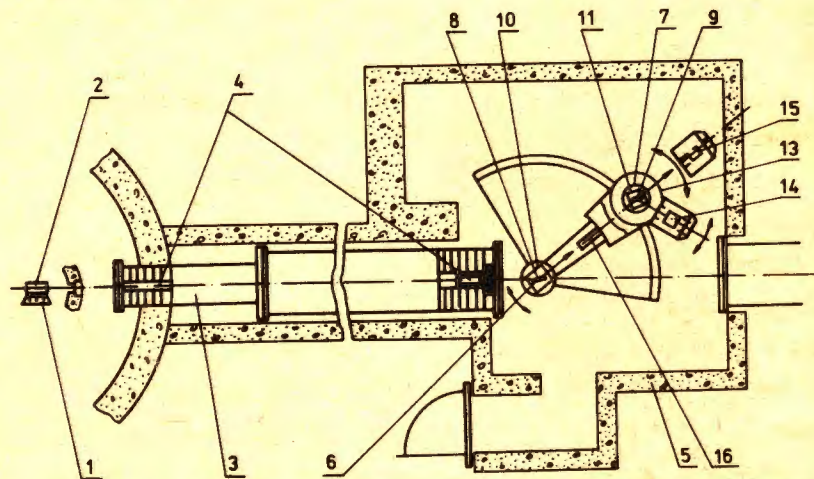


Рис. Д-1 Схема расположения установки ДИФРАН на I канале реактора ИБР-2.

1) вакуумный нейтронный канал (3) для транспортировки нейтронного пучка до исследуемого образца и система коллиматоров K1 (4), позволяющая формировать геометрические размеры первичного нейтронного пучка;

2) базовая часть установки, расположенная на расстоянии 25,25 м от эффективной поверхности замедлителя (2), состоит из модернизированного плеча нейтронного спектрометра WКСN-300, включающего в себя:

- первый поворотный столик (6), идеальный кристалл Si (8) на гониометрической головке GKS-100 (II) с вращением вокруг оси в пределах  $0 + 360^\circ$  с шагом  $1'$ ;

- систему образца (13), помещенную на плечо спектрометра (10) и состоящую из столика образца (7) и плеча детектора (14). На столике (7) помещается либо гониометрическая головка (II), либо прецизионно-поворотное устройство (12), либо интерферометр (12). Система образца позволяет юстировать исследуемые образцы (9) с точностью до  $0,1''$ ;

- детекторы  $^3\text{He}$  прямого (15) и рассеянного (14) пучков находятся в массивной защите;

- сменный соллеровский коллиматор K2 (16) для формирования рассеянного пучка нейтронов.

Базовая часть установки и система коллиматоров расположены в бетонной защите (5).

Детекторная часть электроники и управление гониометрическими головками находятся непосредственно за биологической защитой установки в экспериментальном зале. Для осуществления функции накопления, предварительной обработки данных, а также контроля физических параметров и автоматического управления спектрометром ДИФРАН предусматривается применение системы КАМАК и малой ЭВМ, объединенных в единый измерительно-управляющий модуль, связанный с измерительно-вычислительным центром ЛНФ.

Преимуществом спектрометра ДИФРАН является использование тангенциального канала, постоянная геометрия эксперимента, идеальные кристаллы, низкий уровень фона и широкий диапазон длин волн  $0,1 + 4 \text{ \AA}$ .

Физическая программа установки ДИФРАН:

1. Изучение фундаментальных свойств нейтрона.
2. Измерение когерентных амплитуд рассеяния нейтронов ядрами в тепловой и резонансной области.

3. Рассеяние нейтронов на малые углы на двухкристальном спектрометре.

Таблица Д-1

Основные параметры установки ДИФРАН

1. Средний поток тепловых нейтронов на образце при средней мощности  $W = 2$  МВт.  $(1,9 \pm 0,1) \cdot 10^6$  н/см<sup>2</sup>/с

2. Среднее пролетное расстояние:

- замедлитель-детектор 28,5 м
- I-й кристалл -детектор 2,25 м
- конец коллиматора KI - ось вращения I-го поворотного столика 1,0 м

3. Максимальный размер пучка на выходе из нейтронвода

24 x 24 мм<sup>2</sup>

4. Угол поворота плеча спектрометра

$-5^\circ < 2\theta < 120^\circ$

5. Угол поворота детектора вокруг оси вращения 2-го столика

$-78^\circ < 2\theta_A < 87^\circ$

6. Коллимация первичного пучка:

- в горизонтальной плоскости 7'
- в вертикальной плоскости 15'

7. Коллимация сменного соллеровского коллиматора

10', 25', 50'

8. Число <sup>3</sup>He детекторов

2

9. Диапазон используемых длин волн

0,2 + 4 Å

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3\% \quad \lambda = 0,2 \text{ Å}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} < 1\% \quad \lambda > 1 \text{ Å}$$

10. Дополнительное оборудование:

- идеальные монокристаллы Si, Ge;
- гониометр GKS -100 и GKS -40 (ПНР) с тремя взаимно-перпендикулярными осями X, Y, Z;
- угол поворота вокруг оси Z  $0 \div 360^\circ$
- шаг поворота вокруг оси Z 2'

- угол поворота вокруг оси X, Y  $\pm 20^\circ$
- шаг поворота вокруг оси X, Y 1'
- интерферометр ЛЛЛ
- прецизионный поворотный стол:
  - угол поворота вокруг оси Z 3'
  - шаг поворота вокруг оси Z  $0,1''$

Спектрометр начал функционировать в январе 1985 года, к настоящему времени закончена наладка основных узлов спектрометра.

Ответственный за проведение физических экспериментов на установке ДИФРАН Д.А.Александров.

Л и т е р а т у р а

Yu.A.Alexandrov et al., VII Conference of Czechoslovak Physicists, Prague, 24-28.8, 1981.

Yu.A.Alexandrov et al., International Conference on Neutron Scattering in 90's, Jülich, FRG, 14-18 January 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел 29 апреля 1985 года.

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.  
Theoretical physics.  
Experimental techniques and methods.  
Accelerators.  
Cryogenics.  
Computing mathematics and methods.  
Solid state physics. Liquids.  
Theory of condensed matter.  
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

*JINR Rapid Communications* will be issued regularly.



Установки для научных исследований  
на импульсном реакторе ИБР-2  
/краткие описания/

P13-85-310

Сборник содержит краткие описания 12 спектрометров и других исследовательских установок, созданных к середине 1984 года на реакторе ИБР-2 Объединенного института ядерных исследований. Сведения о спектрометрах иллюстрированы результатами физических экспериментов.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод составителя

