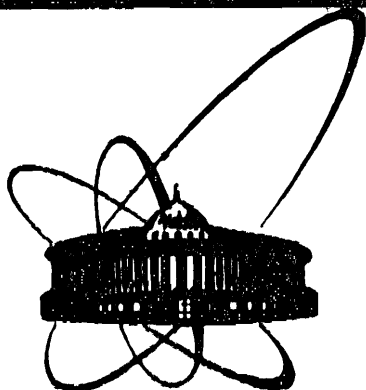


44.9-87



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

РЗ-87-449

Ю.А.Александров, А.В.Андросов, М.Врана,  
В.А.Ермаков, И.Кулда, Т.А.Мачехина, П.Микула\*,  
Р.Т.Михалец\*, Л.Н.Седлакова, Б.Халупа\*

**НЕЙТРОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДИФРАН  
НА РЕАКТОРЕ ИБР-2.**

**КОНСТРУКЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ**

---

\*Институт ядерной физики ЧСАН, Ржеж

## ВВЕДЕНИЕ

На импульсном реакторе ИБР-2 /1/ создана установка ДИФРАН для изучения нейтронно-оптических явлений при дифракции нейтронов на совершенных кристаллах. Использование импульсного источника нейтронов в сочетании с методом времени пролета позволяет проводить эти исследования одновременно на нескольких порядках отражения при фиксированной геометрии эксперимента. Ввиду особенности спектра нейтронов, содержащего большой вклад эпитепловых нейтронов, создаются благоприятные условия для изучения динамической дифракции в широкой области длин волн и передаваемых импульсов. Расчетные характеристики установки сообщались ранее /2-4/. Предварительные эксперименты по динамической дифракции нейтронов, проведенные на реакторе ИБР-30 /5,6/, показали возможность изучения этих явлений на импульсном источнике методом времени пролета и выявили некоторые методические проблемы, которые были решены при создании установки на ИБР-2. Установка ДИФРАН создана на базе плеча спектрометра WКСN-300 /14/.

В настоящей работе описана конструкция и даны основные параметры установки.

## КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ

Установка ДИФРАН расположена на тангенциальном канале № 1 реактора ИБР-2. Основные ее узлы и детали схематично изображены на рис.1. Формирование спектра первичных нейтронов осуществляется в замедлителе. Нейтроны, выходящие из замедлителя 2, проходят через канал в биологической защите и вакуумный нейтронотвод 3, на входе и выходе которого установлены коллиматоры 4, и падают на образец 8, расположенный на первой оси спектрометра. Средний поток тепловых нейтронов на образце при средней мощности реактора ИБР-2 2 МВт составляет  $1,9 \cdot 10^8$  н/см<sup>2</sup>с.

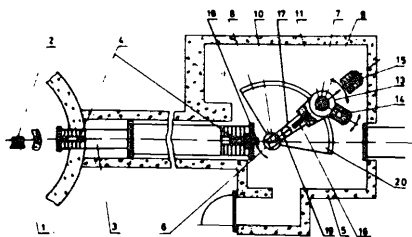


Рис.1. Общий вид установки /пояснения в тексте/.

Коллиматоры заполнены гранулированным полиэстером и борной кислотой. Площадь окна последнего перед образцом коллиматора равна 24x24 мм<sup>2</sup>. Горизонтальная коллимация первичного пучка нейтронов определяется геометрией коллиматоров и составляет 7 угл.мин, вертикальная - 15 угл.мин. Среднее пролетное расстояние от замедлителя до образца равно 28,55 м. Установка окружена биологической защитой из бетонных блоков 5.

Механическая часть установки состоит из массивного металлического основания 20 и плеча спектрометра 17 /модернизированное плечо спектрометра WКСN-300 /14/. Ось неподвижного основания 20 служит одновременно осью поворотного стола 6, вокруг которой вращается плечо спектрометра.

Поворотный стол приспособлен для размещения на нем гониометрической головки GKS-100 10, которая имеет три взаимно перпендикулярных оси вращения X, Y, /±20°/ Z /0÷360°/ и используется для крепления и юстировки образца 8, или прецизионно-поворотного устройства, позволяющего с точностью 0,1" в пределах 5 угл.мин осуществлять поворот образца.

На плече спектрометра 17 расположены:  
 - сменный соллеровский коллиматор 16 для формирования пучка нейтронов, рассеянных первым кристаллом с горизонтальной коллимацией 10', 25', 50';  
 - поворотный стол 7, гониометрическая головка GKS-40 11 и второй кристалл 9 находятся на столе 13 плеча спектрометра;  
 - детектор 14 регистрирует нейтроны, отраженные от второго кристалла, и поворачивается вокруг центра вращения второго кристалла на угол в пределах от -78° до 87°.

Детектор 15 регистрирует нейтроны, которые после отражения от первого кристалла прошли через второй кристалл. Этот детектор установлен вне основания спектрометра.

Детекторы длиной 140 мм и диаметром 93 мм наполнены смесью газов /3 атм. <sup>3</sup>He, 3 атм. Ag и 60 тор CO<sub>2</sub>/ и регистрируют тепловые нейтроны с эффективностью более 80%.

Для мониторинга первичного пучка нейтронов используется малогабаритный счетчик <sup>3</sup>He 18.

Дополнительное оборудование 19 может быть установлено на плече спектрометра 17.

Основные технические параметры установки приведены в табл.1.

Таблица 1

Технические характеристики спектрометра  
ДИФРАН

1. Среднее пролетное расстояние:	
- замедлитель - детектор	28,5 м
- ось первого кристалла - детектор	2,25 м

Продолжение таблицы 1

- ось первого кристалла - ось второго кристалла	- 1,76 м
2. Максимальный размер пучка на выходе из нейтронотода	- 24x24 мм <sup>2</sup>
3. Коллимация падающего пучка:	
- горизонтальная	- 7'
- вертикальная	- 15'
4. Коллимация рассеянного пучка нейтронов первым кристаллом:	
- сменный соллеровский коллиматор	- 10', 25', 50'
5. Угол поворота плеча спектрометра с шагом	- $-5^\circ \leq 2\theta \leq 120^\circ$
6. Угол поворота детектора вокруг оси вращения второго кристалла с шагом	- $-78^\circ \leq 2\theta_A \leq 87^\circ$
7. Детекторная система:	
- число независимых детекторов	- 2
- максимальная апертура детектора	- 1°
8. Оборудование:	
- гониометрические головки GKS-100 и GKS-40 /ПНР/ с тремя взаимно перпендикулярными осями X, Y, Z:	
- угол поворота вокруг оси Z	- 0°-360°
- шаг поворота вокруг оси Z	- 2'
- угол поворота вокруг оси X, Y	- ±20°
- шаг поворота вокруг оси X, Y	- 1'
9. Дополнительное оборудование - прецизионно-поворотный стол:	
- максимальный угол поворота вокруг оси Z	- 5,0'
- максимальный шаг поворота вокруг оси Z	- 0,1"

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ

Блок-схема измерительно-вычислительной системы установки представлена на рис.2.

Электронная аппаратура установки решает следующие основные задачи:

- накопление данных и их визуализация;
- управление экспериментальной аппаратурой;
- хранение накопленных результатов;
- предварительная обработка экспериментальных данных.

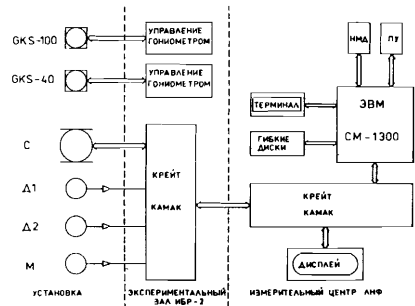


Рис.2. Блок-схема измерительно-вычислительной системы установки ДИФРАН. GKS-40, GKS-100 - гониометрические головки; С - спектрометр с четырьмя шаговыми двигателями; Д1, Д2 - детекторы нейтронов; М - монитор; НМД - накопитель на магнитных дисках; ПУ - печатающее устройство.

Физическая информация поступает от двух детекторов и монитора медленных нейтронов. На функциональной схеме электронной аппаратуры можно выделить три пространственно разделенные части.

Непосредственно на пучке нейтронов располагаются детекторы нейтронов, гониометрические головки и поворотные механизмы.

За биологической защитой установки / ~ 25 м от спектрометра / в экспериментальном зале ИБР-2 находится крейт КАМАК с ручным крейт-контроллером и блок управления гониометрическими головками, позволяющими дистанционно юстировать кристаллы.

Управление спектрометром производится дистанционно при помощи специально разработанного блока. Команды для передвижения плеча спектрометра, детектора и вращения второго стола задаются в "ручном" режиме или с помощью ЭВМ CM-1300.

В измерительном центре с помощью ЭВМ CM-1300 проводится набор временных спектров и их предварительная обработка. Временной аналого-цифровой преобразователь соединен с ОЗУ-7231 по каналам прямого доступа, что обеспечивает мертвое время регистрации спектров ~ 1,0 мкс. С помощью ЭВМ CM-1300 информация может быть просмотрена на терминале, графическом дисплее с последующим выводом графика на печатающее устройство, записана на накопитель на магнитных дисках /НМД/ /или на гибких дисках /ГД//, либо выведена на печать. Информация, записанная на НМД /или на ГД/, может быть передана на основную ЭВМ ЛНФ PDP-11/70.

#### УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Характеристики установки ДИФРАН и результаты измерений, приведенные ниже, получены при работе реактора ИБР-2 на частоте повторения импульсов мощности 5 Гц, ширине импульса тепловых нейтронов 240 мкс, средней мощности реактора 2 МВт.

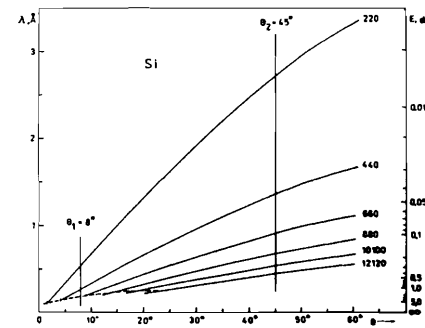


Рис.3. Схема, иллюстрирующая получение дифракционной картины методом постоянного угла рассеяния.

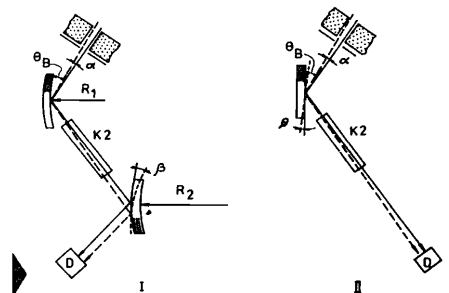


Рис.4. Возможные схемы экспериментов на установке ДИФРАН.

Измерение временных спектров производилось при постоянной ширине канала временного кодировщика  $\Delta\tau = 32$  мкс. В экспериментах, выполняемых по методу времени пролета, регистрируется интенсивность нейтронов, рассеянных образцом, как функция времени  $N \cdot \Delta\tau$ , где  $N$  - номер канала.

На нейтронограммах, полученных по методу времени пролета  $\theta = \text{const}$ , распределение дифракционных отражений соответствует распределению межплоскостных расстояний. На рис.3 приведено семейство кривых, являющихся решениями уравнения Брэгга-Вульфа для кристалла кремния. Вертикальные линии  $\theta_1 = 8^\circ$  и  $\theta_2 = 45^\circ$  описывают дифракцию по методу времени пролета. Из рис.3 видно, что чем больше  $hkl$ , тем меньше  $d_{hkl}$ , тем чаще следуют отражения и к тому же при  $\theta_1 = 8^\circ$  уменьшается разрешение установки, которое при  $\lambda < 0,5 \text{ \AA}$  ограничено шириной нейтронного импульса, под пунктирной кривой дифракционные отражения имеют плохое разрешение.

На установке ДИФРАН можно проводить измерения как по схеме двухкристалльного /рис.4, схема I/, так и однокристалльного спектрометра /рис.4, схема II/.

Наиболее распространенным методом экспериментального определения спектра нейтронов  $\Phi_0(\lambda)$  является измерение рассеяния на поликристаллическом ванадии, рассеивающем все нейтроны практически некогерентно; сечение когерентного рассеяния при этом ничтожно мало /7/. Спектр рассеянных на ванадии нейтронов  $\Phi_\lambda$  после вычитания фона и исправления на поглощение и многократное рассеяние обрабатывался по методу наименьших квадратов с использованием функции /8/:

$$\Phi_0(\lambda) = \left\{ \Phi_{0,\max} \frac{\lambda_T^4}{\lambda_i^5} \exp\left[-\left(\frac{\lambda_T}{\lambda_i}\right)^2\right] + \Phi_{0,\text{epi}} \frac{1}{\lambda_i^{1+2\gamma} \left[1 + \exp\left(\frac{\lambda_1 \lambda_i}{\lambda_2}\right)\right]} \right\} A(\lambda), \quad /1/$$

где  $\lambda_T$  - длина волны в тепловой точке;  $\lambda_i$  - длина волны нейтрона, пришедшего в  $i$ -ый канал временного анализатора;  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  - высота и ширина распределения соответственно;  $\Phi_{0,\max}$ ,  $\Phi_{0,\text{epi}}$ ,  $\gamma$  - параметры;  $A(\lambda)$  - фактор, учитывающий поглощение и рассеяние нейтронов на пути от замедлителя до образца и от образца до детектора. На рис.5 показана форма спектра нейтронов  $\Phi_\lambda = \Phi_0(\lambda) \cdot E(\lambda)$ , падающих на образец ванадия /• точки/, где  $E(\lambda)$  - эффективность детектора.

Для определения  $\Phi_\lambda$  были также измерены интегральные интенсивности дифракционного отражения (004) от тонкого кристалла кремния / $t = 0,5$  мм/ в зависимости от длины волны. Тонкий кристалл был выбран для того, чтобы свести к минимуму поправку на тепловое диффузное рассеяние /ТДР/. Интегральная интенсивность для симметричного отражения по Брэггу совершенного непоглощающего кристалла, когда площадь поверхности кристалла больше поперечного пучка падающих нейтронов  $S^{/9,10/}$ , равна

$$I_n = \Phi_\lambda \cdot S \cdot R_n^\lambda, \quad /2/$$

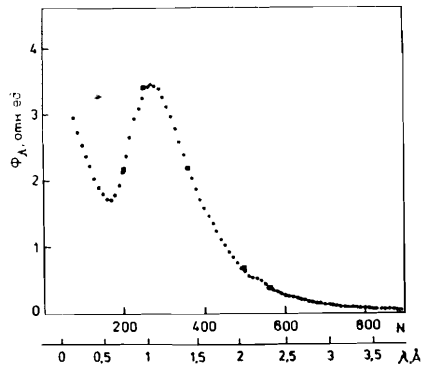


Рис.5. Зависимость спектра нейтронов от длины волны падающих нейтронов.

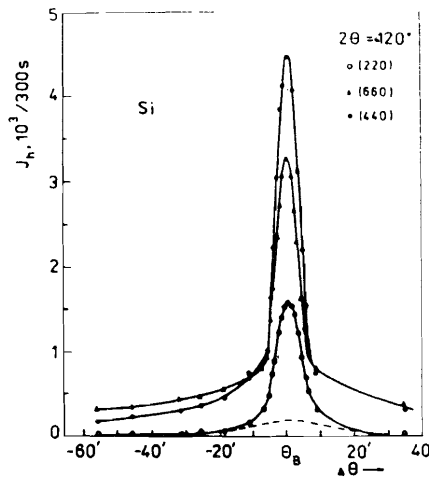


Рис.6. Кривые отражения нейтронов от семейства плоскостей (hh0)  $2\theta = 120^\circ$  кристалла кремния в геометрии Брэгга.

$$\text{где } R_n^\lambda = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda^3 F_n e^{-w_n}}{V_0 \sin^2 \theta}, \quad \lambda - \text{длина волны нейтрона, } F_n - \text{структурный фактор, } V_0 - \text{объем элементарной ячейки, } e^{-w_n} - \text{фактор Дебая-Валлера, } \theta - \text{угол Брэгга, } S - \text{площадь облучаемой поверхности образца. } R_n^\lambda \text{ записано с учетом всевозможных эффектов многократного отражения.}$$

При толщине кристалла  $t = 6$  мм весьма существенной является поправка на ТДР, которое зависит от температуры, средней скорости звука в кристалле, условий эксперимента: расхождения падающих нейтронов, апертуры детектора и т.д. На рис.6 приведены кривые отражения для плоскостей (220), (440) и (660) совершенного кристалла кремния / $t = 6$  мм/. Видна широкая по сравнению с брэгговскими пиками подложка, обусловленная ТДР, для отражения (220) она выделена пунктиром. Как показали расчеты, при больших значениях  $t$  поправка на ТДР дает заметный вклад в наблюдаемую интегральную интенсивность для отражений высоких порядков и существенна при скорости нейтронов, превышающей среднюю скорость звука в кристалле, при обратном соотношении скоростей в первом приближении этой поправкой можно пренебречь. Измеренная зависимость  $\Phi_\lambda$  от  $\lambda$  при толщине кристалла кремния 0,5 мм приведена на рис.5 /■ - точки/. Оба метода измерения эффективной спектральной плотности потока нейтронов в месте нахождения исследуемого образца дают хорошее согласие.

Разрешение установки характеризуется разбросом длин волн  $\Delta\lambda$  в дифрагированном пучке и его конечной угловой шириной  $\Delta\theta$ . Оно обусловлено несовершенством монохроматизации нейтронного пучка кристаллом и зависит от свойств исследуемого образца /его совершенства, размеров/, коллимации и геометрии установки. На разрешение существенно влияет корреляция между длиной волны и направлением дифрагированного пучка, означающая появление дисперсии  $\Delta\lambda/\Delta\theta$ . При симметричной дифракции нейтронов при отражении по Брэггу от совершенного кристалла /рис.4, схема II/ кривые отражения не превышают обычно нескольких угловых секунд. Однако наблюдать узкие кривые отражения сильно мешает немонахроматичность рассеянных образцом нейтронов /9-11/:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \Delta\theta \cdot \text{ctg} \theta, \quad /3/$$

где  $\Delta\theta$  определяется максимальной горизонтальной коллимацией нейтронного пучка и поэтому ширина кривых отражения равна  $\Delta\theta = 7'$  для всех порядков /рис.6/.

Обычно можно улучшить разрешение экспериментальной установки, при этом проигрывая в интенсивности. Параллельная геомет-

рия двухкристального спектрометра обеспечивает намного лучшее разрешение. Схема двухкристального спектрометра /рис.1, схема 1 рис.4/, для которого хорошо развита теория /10/, основана на двух одинаковых совершенных кристаллах с симметричным отражением по Брэггу в положении  $(n, -n)$ . Нейтроны, падающие на первый кристалл, характеризуются двумя значениями коллимации:  $\alpha_0$  - горизонтальная и  $\phi$  - вертикальная. Вторым кристалл устанавливается параллельно первому. Покачивая второй кристалл на угол  $\beta$  относительно вертикальной оси, лежащей в отражающей плоскости, нарушаем условия брэгговского отражения от второго кристалла сразу для всех длин волн, и интенсивность отраженных нейтронов резко падает. Коэффициент отражения идеально съюстированных в вертикальной плоскости кристаллов / $\phi_0 = 0$ / дан соотношением /10/.

$$R(\beta) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} R(\alpha) R(\alpha - \beta) d\alpha}{\int_{-\infty}^{+\infty} R(\alpha) d\alpha}, \quad /4/$$

где  $R(\alpha)$  - коэффициент отражения нейтронов от отдельно взятого кристалла. Для симметричного отражения по Брэггу от совершенного кристалла конечной толщины коэффициент отражения  $R(\alpha)$  имеет вид:

$$R(\alpha) = 1, \quad |\alpha| \leq s_n,$$

$$R(\alpha) = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{s_n}{\alpha}\right)^2}, \quad |\alpha| > s_n, \quad /5/$$

$$s_n = \frac{\lambda^2 F_n e^{-W_n}}{\pi V_0 \sin 2\theta}.$$

В эксперименте с двумя независимыми кристаллами иногда трудно съюстировать кристаллы так, чтобы угол  $\phi_0$  между плоскостями рассеяния был равен нулю /12/. Небольшие значения  $\phi_0$  приводят к резкому уменьшению  $R(\beta)$  в максимуме, при этом ширина  $w$  кривых отражения определяется лишь геометрическими факторами и не зависит от  $s_n$ :

$$w \approx \frac{\phi \phi_0}{\cos \theta}. \quad /6/$$

Однако с увеличением порядка отражения интегральная интенсивность сильно падает из-за уменьшения ширины кривой отражения, пропорциональной  $\lambda^2$ , и фактора Дебая-Валлера. Поэтому,

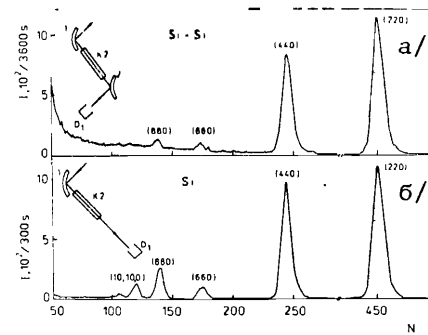
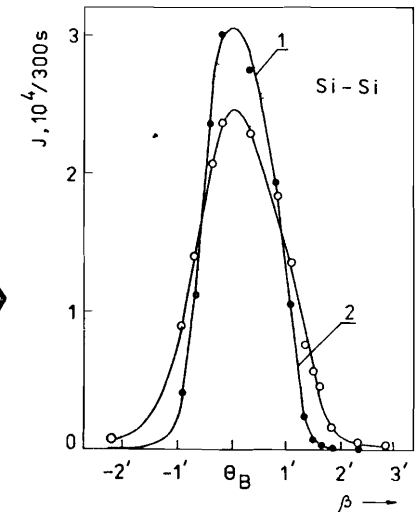


Рис.7. Дифракционный спектр кристалла кремния  $2\theta = 60^\circ$ : а/ упруго изогнутые кристаллы  $R_1 = 54,5$  м и  $R_2 = 50,6$  м; б/ упруго изогнутый кристалл  $R_1 = 54,5$  м.

Рис.8. Кривая отражения нейтронов от кристалла кремния,  $2\theta = 60^\circ$  /рис.4, схема I/. Кривая 1 - упруго изогнутые кристаллы  $R_1 = 54,5$  м и  $R_2 = 50,6$  м; кривая 2 - между кристаллами кремния помещен образец железа.



упруго деформируя подходящим образом кристаллы, можно получить существенный выигрыш в интенсивности нейтронов /рис.7а/ при угловом разрешении от угловых секунд до нескольких угловых минут /13/ /рис.8/. Из рис.8 /кривая 1/ видно, что резкое падение интенсивности кривой отражения от угла поворота  $\beta$  второго кристалла позволяет данную схему эксперимента использовать для исследования малоуглового рассеяния вплоть до минимального значения переданного импульса  $Q = 2 \cdot 10^{-8} \text{ \AA}^{-1}$ . В качестве примера приведена кривая малоуглового рассеяния на образце железа толщиной 0,2 см /рис.8, кривая 2/, исследуемый образец находился между первым и вторым изогнутыми кристаллами.

Физические характеристики установки приведены в табл.2.

Таблица 2  
Физические характеристики установки ДИФРАН

1. Средний поток тепловых нейтронов на образце при средней мощности реактора ИБР-2  $W = 2$  МВт /тангенциальный канал/

$$- /1,9 \pm 0,1/ \cdot 10^6 \text{ н/см}^2 \text{с}$$

Продолжение таблицы 2

- |  |  |
|--|--|
| 2. Интервал используемых длин волн   | - 0,2 - 2,5 Å  |
| 3. Разрешение $\Delta\lambda/\lambda$ для:   |  |
| $\lambda = 0,2 \text{ Å}$  | - 10%  |
| $\lambda > 1,0 \text{ Å}$  | - $\leq 1\%$   |
| 4. Сдвиг нуля временного спектра   | - 1120 мкс   |
| 5. Фон при $W = 2 \text{ МВт}$ , $\Delta r = 32 \text{ мкс}$ :                                 |  |
| $2\theta = 90^\circ$ $\lambda = 1,11 \text{ Å}$  | - $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ нс}^{-1} \text{ канал}^{-1}$ |
| $\lambda = 1,67 \text{ Å}$   | - $5,4 \cdot 10^{-8} \text{ нс}^{-1} \text{ канал}^{-1}$ |
| $\lambda = 3,34 \text{ Å}$   | - $0,6 \cdot 10^{-8} \text{ нс}^{-1} \text{ канал}^{-1}$ |
| 6. Ширина импульса нейтронов, измеренная по временному спектру при $\lambda = 0,2-3 \text{ Å}$ | - 240 мкс  |
| 7. Ширина временных каналов $\Delta r$ в общем случае  | - 32 мкс   |
| 8. Количество одновременно измеряемых отражений  | - $\sim 5$   |

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

С целью иллюстрации возможностей установки ДИФРАН была проведена серия экспериментов на разных кристаллах.

При исследовании нейтронно-оптических явлений используются совершенные непоглощающие кристаллы кремния. В качестве примера на рис.9 приведена зависимость интенсивности рассеяния нейтронов от времени пролета для такого кристалла толщиной  $t = 6 \text{ мм}$  для разных углов  $2\theta$ , для симметричного отражения по Брэггу /рис.4, схема II/. Время измерения составляло от 5 мин до нескольких часов. Для сравнения на рис.7а приведена зависимость интенсивности рассеяния нейтронов от времени пролета для двухкристального спек-

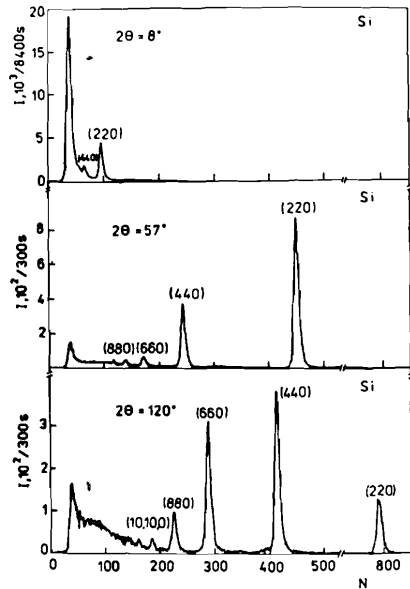


Рис.9. Дифракционный спектр кристалла кремния при разных углах  $2\theta$ .

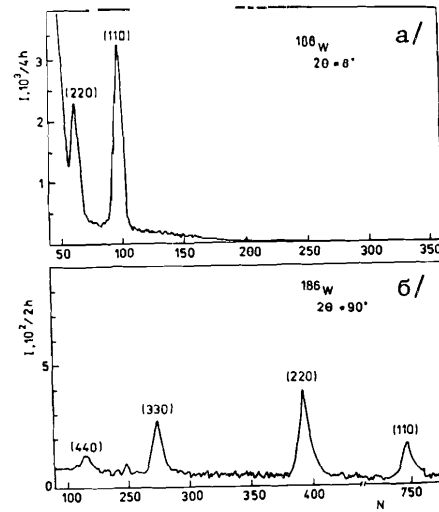


Рис.10. Дифракционный спектр кристалла  $^{186}\text{W}$ .

трометра /рис.4, схема I/,  $2\theta = 60^\circ$ , кристаллы упруго изогнуты с радиусами кривизны  $R_1 = 54,5 \text{ м}$ ,  $R_2 = 50,6 \text{ м}$ . На рис.7б /рис.4, схема II/ приведена зависимость интенсивности от времени пролета, кристалл кремния упруго изогнут с  $R_1 = 54,5 \text{ м}$ . Из рис.7б видно, что, подбирая соответствующим образом кривизну кристалла, можно получить существенный выигрыш в интенсивности нейтронов без существенного ухудшения разрешения.

На рис.10 показана зависимость интенсивности рассеяния нейтронов от времени пролета для мозаичного / $\eta = 40$ '/ кристалла  $^{186}\text{W}$ , имеющего малую амплитуду когерентного рассеяния нейтронов, которая на порядок меньше, чем у кремния. Из рис.10 видно, что можно проводить исследования и в электронвольтовой области, т.е. при  $\lambda < 0,5 \text{ Å}$ .

Интенсивность падающих на образец нейтронов под углом  $2\theta = 60^\circ$  достаточна для изучения /рис.4, схема II/ дифракции на совершенном поглощающем кристалле  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  /рис.11/, время измерения - 17 ч.

Как показали измерения /рис.9-11/, на установке обеспечивается хорошее соотношение эффекта к фону. Основной вклад в фон дает рассеяние нейтронов на воздухе в области образца.

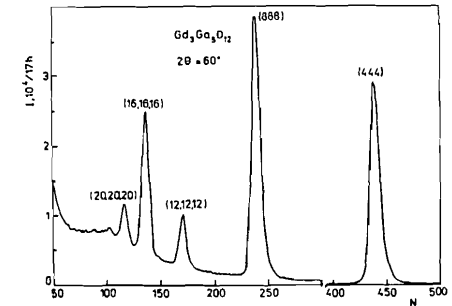


Рис.11. Дифракционный спектр совершенного поглощающего кристалла  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные параметры установки ДИФРАН приведены в табл.1 и 2. Проведенные к настоящему времени измерения показали ее эффективность. Наилучшие экспериментальные условия имеются в диапа-

зоне длин волн 0,5-2,5 Å, где обеспечивается низкий уровень фона и неплохое разрешение.

Для длин волн, меньших 0,5 Å, экспериментальные условия менее благоприятны из-за увеличения фона и уменьшения разрешающей способности, которая для этих длин волн ограничена шириной нейтронной вспышки реактора ИБР-2.

В заключение авторы благодарят коллектив ЛНФ ОИЯИ за постоянный интерес и поддержку, которые способствовали созданию установки; Я.Вавру, Л.Марека /ИЯФ ЧСАН, Ржеж/, А.А.Ложкарева, Х.Манрике Гарсия за помощь в монтаже механической части спектрометра, В.М.Назарова за измерение среднего потока нейтронов на образце.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ananiev V.D. et al. In: Proc.Inst.Phys.Conf., Bristol and London, 1983, Ser. No.64, Sect.9, p.497.
2. Alexandrov Ju.A. et al. In: Proc. VII-th Conf. of Czech. Phys., Prague, 1981, p.01-25.
3. Alexandrov Ju.A. et al. In: Inter.Conf. on Neutron Scat. in 90's, Jülich, 1985, B5-056.
4. Составитель Останевич Ю.М. Препринт ОИЯИ, P-13-85-310, Дубна, 1985.
5. Alexandrov Ju.A. et al. In: Proc.VI-th Conf.of Czech.Phys., Ostrava, 1975, p.02-22.
6. Alexandrov Ju.A. et al. In: Proc.XIII-th Int.Congress of Cryst.,Hamburg,1984;Acta Cryst.,1984,A40 Suppl.,p.C-355.
7. Day D.H., Sinclair R.H. Nucl.Instr. and Meth., 1969, v.70, p.164.
8. Mildner D.F.R. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1978, v.152, p.437.
9. Александров Ю.А., Шарапов Э.И., Чер Л. Дифракционные методы в нейтронной физике. М.: Энергоиздат, 1982.
10. James R.W. The Optical Principles of the Diffraction of X - Rays, G. Bell and Sons Ltd., London, 1965.
11. Пинскер З.Г. Рентгеновская кристаллооптика. М.: Наука, 1982.
12. Александров Ю.А. и др. Кристаллография, 1984, т.29, с.869.
13. Egert G., Dachs H., J.Appl.Cryst., 1970, v.3, p.214.
14. Maliszewski E. et al. In: Proc.IAEA Symp. on Inelastic Scattering of Neutrons in Solids and Liquids, Copenhagen, 1968, SM-104/131.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 июня 1987 года.

Александров Ю.А. и др.  
Нейтронный спектрометр ДИФРАН на реакторе ИБР-2.  
Конструкция и параметры

P3-87-449

На импульсном реакторе ИБР-2 создана установка ДИФРАН для исследования нейтронно-оптических явлений при дифракции нейтронов на совершенных кристаллах при одновременном наблюдении нескольких порядков отражения. Ввиду особенности спектра нейтронов, содержащего большую интенсивность эпитепловых нейтронов, создаются благоприятные условия для изучения динамической дифракции в широкой области длин волн и передаваемых импульсов. Основные узлы установки: двухкристальный спектрометр, расположенный на 25-метровой пролетной базе; система коллимации порядка 10', гониометры для кристаллов /точность 1', прецизионно-поворотный стол /шаг поворота 0,1'' в пределах 5'. Разрешение установки при  $\lambda \geq 1 \text{ \AA}$   $\Delta\lambda/\lambda \leq 1\%$ , при  $\lambda = 0,2 \text{ \AA}$   $\Delta\lambda/\lambda = 10\%$ . Дифракционные спектры измеряются в интервале углов  $2\theta = 8^\circ \div 120^\circ$ . Приведены основные параметры установки, падающий спектр, фоновые условия. В качестве иллюстрации представлены результаты измерений с некоторыми кристаллами.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод: О.С. Виноградовой

Alexandrov Yu.A. et al.  
DIFRAN Neutron Spectrometer at the IBR-2 Reactor.  
Design and Parameters

P3-87-449

A brief description and some technical parameters of the DIFRAN facility designed for studies of neutron optical effects by the TOF method are reported. The instrument, placed at a 25 m flight path at the IBR-2 pulsed reactor, consists of a double axis spectrometer, various goniometer heads and some special ancillary equipment, including e.g. high precision (0.1') turntables. It may be operated at scattering angles  $2\theta = 8^\circ \div 120^\circ$  which together with a moderate wavelength resolution (10% at 0.02 nm and 1% at 0.1 nm) make possible to utilize both the epithermal and Maxwellian flux components for work at a wide range of neutron energies and momentum transfers. The measured effective spectral distribution of the incident neutron flux is included.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987