

2/118

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P13-84-242**

**Г.Балука, А.В.Белушкин, С.И.Брагин,  
Т.Залески, М.З.Ишмухаметов, И.Натканец,  
В.Олеярчик, Я.Павелчик\***

**СПЕКТРОМЕТР  
ОБРАТНОЙ ГЕОМЕТРИИ КДСОГ-М  
НА РЕАКТОРЕ ИБР-2**

---

\* Институт ядерной физики, Краков, ПНР

## ВВЕДЕНИЕ

Спектрометр КДСОГ-М создан на реакторе ИБР-2<sup>/1,2/</sup> для исследования динамики твердых тел и одновременного контроля фазового состава образца. Использованный метод обратной геометрии описан в<sup>/3/</sup> и с тех пор с успехом применяется в ряде спектрометров на различных источниках нейтронов<sup>/4-9/</sup>. Суть метода 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 источник - образец. В качестве монохроматоров рассеянных нейтронов используют поликристаллические фильтры<sup>/3-8/</sup> или монокристаллы<sup>/6/</sup>. Сочетание бериллиевого фильтра с монокристаллом является более оптимальным вариантом, так как позволяет обеспечить хорошее разрешение и избавиться от высших порядков отражения<sup>/4, 5, 7, 9/</sup>. В<sup>/10/</sup> было предложено одновременно проводить измерения по времени пролета как неупругого, так и упругого рассеяния нейтронов с целью повышения информативности получаемых данных. Спектрометр обратной геометрии для исследований неупругого рассеяния нейтронов на реакторе ИБР-30<sup>/4/</sup> в принципе позволял проводить такие измерения, но в силу технических и эксплуатационных особенностей режим одновременных измерений применялся крайне редко<sup>/11/</sup>. Частичная переделка установки КДСОГ<sup>/12/</sup>, заключающаяся в замене одного плеча спектрометра для неупругого рассеяния на времяпролетный дифрактометр, позволила выявить преимущества исследования динамики решетки с одновременным контролем фазового состава образцов<sup>/13/</sup>.

Спектрометр КДСОГ-М на ИБР-2 создан на базе спектрометра КДСОГ и является существенно модернизированным аналогом спектрометра КДСОГ-1А<sup>/13/</sup>, который в настоящее время эксплуатируется на реакторе ИБР-30.

### 1. КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ

Схема оборудования, входящего в состав спектрометра, показана на рис.1. Нейтронный импульс, формирующийся в активной зоне 1, термолизуется в замедлителе 2 и, пройдя через канал в биологической защите 3 реактора и вакуумный нейтронпровод 7 с коллиматорами 5, падает на образец 9. Установленный на расстоянии 8,8 м от замедлителя вращающийся прерыватель 4 позволяет эффек-

Ститу  
Состав

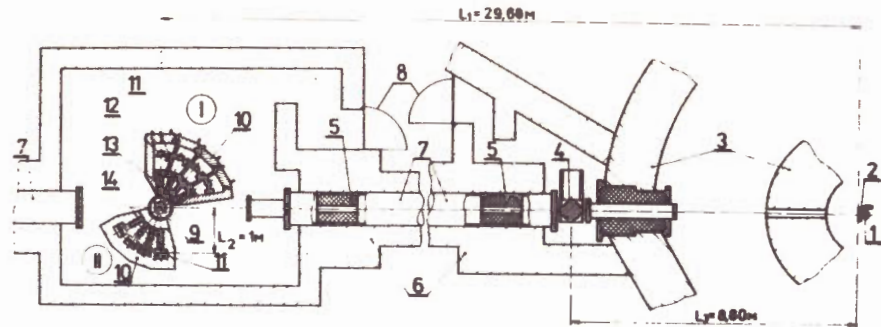


Рис. 1

тивно убирать фон запаздывающих быстрых нейтронов и, при необходимости, сателлитные импульсы реактора. Частоту вращения прерывателя можно устанавливать кратной частоте реактора, а момент открытия сдвигать по фазе относительно нейтронного импульса. Функция пропускания прерывателя имеет вид трапеции. Если обозначить через  $T_{CH}$  период вращения прерывателя, то время, когда пропускание равно 1, составляет  $0,1592 T_{CH}$ , а ширина кривой пропускания на половине высоты равняется  $0,2629 T_{CH}$ .

Коллиматоры 5 засыпаны гранулированным полиэстером и карбидом бора. Размер окна последнего перед образцом коллиматора равен  $120 \times 160 \text{ мм}^2$ . Горизонтальная коллимация пучка падающих на образец нейтронов составляет  $50'$ . Вся установка окружена бетонной биологической защитой 6.

Часть I спектрометра предназначена для исследований неупругого рассеяния нейтронов. Она окружена защитой 10 (парафин с карбидом бора) и состоит из четырех одинаковых секций. Секции имеют общий бериллиевый фильтр-коллиматор 13, охлаждаемый жидким азотом. Фильтр набран из пластин поликристаллического бериллия  $20 \times 40 \times 80 \text{ мм}^3$ , общая толщина его составляет 240 мм. Через каждые 20 мм установлены вертикальные кадмиевые прокладки. За фильтром расположен соллеровский коллиматор с минимально возможной шириной щели 5 мм и общей длиной 240 мм. Обычно используется щель в 10 мм, обеспечивающая горизонтальную коллимацию  $2^\circ$ . Детекторы 11 собраны из 13 пропорциональных гелиевых счетчиков СМ-17. Счетчики расположены в шахматном порядке, так что эффективная толщина детектора составляет 2 см. Кристаллический анализатор 12 общей площадью  $195 \times 195 \text{ мм}^2$  собран из трех монокристаллов цинка мозаичностью  $1,5^\circ / d_{002} = 2,4728 \text{ \AA}$  или двенадцати пластин пиролитического графита примерно такой же мозаичности  $/d_{002} = 3,3668 \text{ \AA}$ . Анализатор расположен за фильтром, что по сравнению с геометрией установок /7,9/ дает возможность в более широких пределах менять разрешение установки. Это достигается установкой детекторов либо сразу за бериллиевым фильтром,

Таблица 1  
Основные технические параметры установки КДСОГ-М

Расстояние реактор-образец	- 29,68 м
Максимальное сечение пучка	- $120 \times 160 \text{ мм}^2$
Коллимация падающего пучка	- $50'$
Расстояние образец - детектор	- 1,02 м
дифракция	- 1,05 м - 1,525 м
неупругое рассеяние	- $0,5^\circ - 2^\circ$
Коллимация рассеянного пучка	- $1^\circ - 4^\circ$
дифракция	- 4
неупругое рассеяние	- 4
Количество детекторов	- $30^\circ - 150^\circ$
дифракция	- 8,8 м
неупругое рассеяние	- 750 об./мин.
Диапазон углов измерения	- 25 Гц
Расстояние детектор - вращающийся прерыватель	- 500 раз.
Скорость вращения прерывателя	
Частота открывания пучка	
Уменьшение фона быстрых нейтронов	

либо так, что регистрируемые нейтроны попадают в детектор после прохождения фильтра и отражения от монокристалла.

Часть II спектрометра предназначена для исследований дифракции. Она состоит из защиты 10, четырех детекторов 11 и соллеровских коллиматоров 14. Детекторы собраны из пяти счетчиков СМ-17, расположенных в шахматном порядке. Размер окна дифракции равен  $50 \times 100 \text{ мм}^2$ . Минимальная щель коллиматора - 2,5 мм. Для обычно используемой щели 5 мм горизонтальная расходимость пучка составляет  $1^\circ$ . Основные технические параметры установки приведены в табл.1.

Спектры дифракции и неупругого рассеяния нейтронов измеряются на двумерном анализаторе "Время пролета - номер детектора" /14/. Блоки анализатора выполнены в стандарте КАМАК и управляются микропроцессорным контроллером крейта ККМП-7207-2 /15/. Анализатор и вся детекторная часть электроники спектрометра КДСОГ-М находятся непосредственно за биологической защитой установки в экспериментальном зале ИБР-2. Дистанционное управление анализатором и передача массивов данных в мини-ЭВМ СМ-3, установленную в измерительном центре ЛНФ, осуществляются с помощью блоков связи КАМАК-КАМАК типа 1471 /16/. Дистанционное управление позволяет выполнять все операции, необходимые для измерения спектров, контролировать ход набора данных на дисплее измерительного модуля и записывать массивы экспериментальных результатов на магнитный диск.

## 2. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

С целью определения физических параметров установки КДСОГ-М были проведены методические измерения на ванадии и других стандартных образцах, исследованных ранее на реакторе ИБР-30.

На рис.2 показаны результаты измерений фона быстрых нейтронов. Они представляют собой времяпролетные спектры, измеренные мониторным счетчиком, закрытым кадмием и установленном на месте образца. Идентичные спектры были получены с помощью детекторов дифракционной части спектрометра для рассеяния на ванадии, где пучок был закрыт кадмиевой заслонкой. Сплошная линия получена в то время, когда вращающийся прерыватель был остановлен в открытом положении. Этот спектр отражает временную структуру мощности реактора ИБР-2 /см. рис.3 в работе /1/. Буквой Р обозначены основные импульсы нейтронов,  $S_1 \dots S_4$  - сателлиты. Между импульсами существует значительный неоднородный фон запаздывающих нейтронов, что может затруднить проведение ряда экспериментов. Пунктиром показаны фоновые условия при работе прерывателя с частотой следования сателлитов ИБР-2  $\nu_e = \nu_s = 25$  Гц, что отвечает полуширине временного окна, равной 10,5 мс. Фаза временного окна была сдвинута относительно нейтронной вспышки на  $\phi = 5$  мс. Этот режим обеспечивает пропускание нейтронов с длиной волны до 4,5 Å и оказывается наиболее оптимальным для пролетных баз спектрометра КДСОГ-М. Штрих-пунктирная линия соответствует вращению прерывателя с частотой основных импульсов мощности ИБР-2  $\nu_e = \nu_p = 5$  Гц/. При этом ширина на полувысоте временного окна составляет 52,6 мс, а центр окна совпадает с импульсом мощности реактора. Как видно из рис.2, такой режим позволяет эффективно убрать сателлитные импульсы мощности. Наиболее оптимальным он будет для спектрометров, которые планируется установить на расстоянии около 100 м от активной зоны ИБР-2.

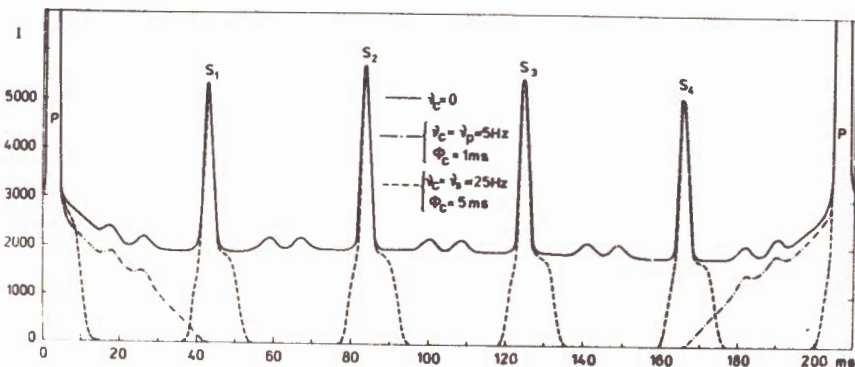


Рис. 2

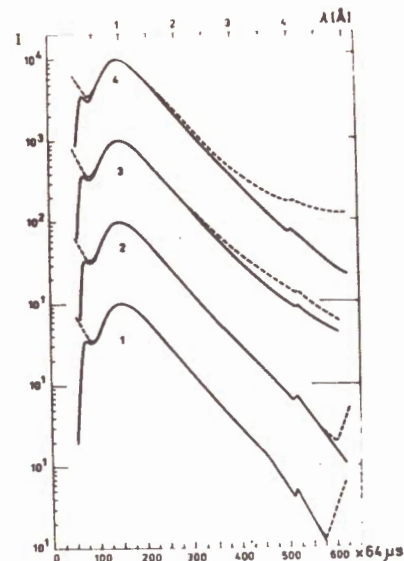


Рис. 3

На рис.3 показаны спектры нейтронов, падающих на образец. Пунктиром приведены результаты измерения упругого рассеяния на ванадии. Образец ванадия представлял собой пластину 200x200 мм<sup>2</sup>, толщиной 3 мм. Сплошной линией представлены спектры тепловых нейтронов, полученные после вычитания фона быстрых нейтронов, изображенного на рис.2. Спектры 1 и 2 соответствуют работе прерывателя с частотой 25 Гц и фазой 5,7 и 4,2 мс соответственно. Спектр 3 отвечает частоте прерывателя 5 Гц и фазе 1 мс, а спектр 4 - прерывателю, остановленному в открытом положении. Скачки на спектрах вызваны эффектом фильтрации нейтронного пучка

алюминиевыми заглушками нейтронновода. Поведение спектра после вычитания фона быстрых нейтронов для номеров канала, меньших 75, обусловлено границей поглощения кадмия, который использовался для перекрытия пучка в измерениях фона быстрых нейтронов. Сравнение спектров ясно показывает, что при остановке прерывателя /спектр 4/ быстрые нейтроны составляют значительную долю от спектра тепловых нейтронов ниже 3 Å. При частоте прерывателя 25 Гц и соответствующем выборе фазы /спектры 1 и 2/ можно практически полностью убрать влияние фона быстрых нейтронов на спектр тепловых нейтронов, падающих на образец.

Для расчета распределения падающих нейтронов использовалась формула /17/:

$$\Phi(\lambda) d\lambda = C_1 E_i^{C_2} \exp(-C_3 E_i) + \frac{C_4 E_i^{C_5}}{1 + \exp\left[C_7 \left(\frac{9,04728}{\sqrt{E_i}} - C_6\right)\right]}, \quad /17/$$

где  $E_i$  - энергия нейтрона, пришедшего в  $i$  канал анализатора,  $C_1 - C_7$  - константы, которые подбирались методом наименьших квадратов по программе FUMILI /18/. Первое слагаемое здесь моделирует максвелловскую кривую, второе - спектр эпитермических нейтронов. Сравнение результатов подгонки с экспериментом показано на рис.4. Спектр 1 отвечает плоскому замедлителю /5 см H<sub>2</sub>O/, спектр 2 - гребенчатому водяному замедлителю /19/. Этот замедлитель более эффективно термализует нейтроны, выходящие из активной зоны ИБР-2, что проявляется в изменении соотношения

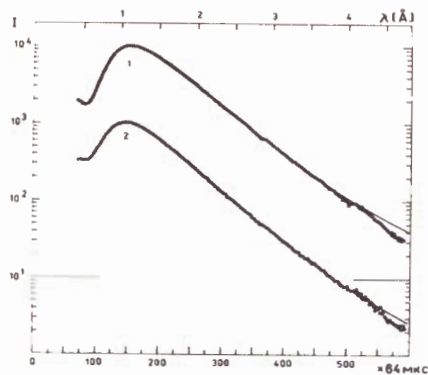


Рис. 4

между тепловыми и резонансными нейтронами, а также общим сдвигом спектра в длинноволновую область.

Характерные скорости счета и отношение эффекта к фону для неупругого рассеяния нейтронов продемонстрированы на рис. 5 и 6. Спектры с достаточной статистикой для водородсодержащих образцов можно получить за несколько часов. На рис. 5 показан спектр неупругого рассеяния нейтронов на хлористом аммонии. Видно, что даже при остановленном прерывателе, благодаря большому

сечению рассеяния на водороде, обеспечивается хорошее соотношение эффекта к фону. Однако для образцов, не содержащих водорода, использование вращающегося прерывателя становится принципиальным. На рис. 6 представлены результаты измерения неупругого магнитного рассеяния нейтронов на образце  $\text{PrAl}_3$ , выявляющие переходы между уровнями парамагнитного иона  $\text{Pr}^{3+}$  в кристаллическом поле <sup>/20/</sup>. Этот эффект значительно меньше уровня фона быстрых нейтронов и только подавление фона прерывателем позволяет получать удовлетворительные спектры примерно за 10 ч.

Представленные здесь результаты по неупругому рассеянию нейтронов получены при использовании бериллиевого фильтра и монокристаллов цинка для монохроматизации рассеянных нейтронов. Монокристаллы были ориентированы таким образом, чтобы отражение первого порядка от плоскости  $Z_0/002/$  отвечало энергии немного меньше границы бериллиевого фильтра,  $E_{Be} = 5,23$  мэВ при  $T = 77$  К. Все кристаллические анализаторы ориентированы так, чтобы получить одну энергию анализа  $E_f = 4,9$  мэВ для всех углов рассеяния.

Ширина упругого пика на половине высоты равна 0,4 мэВ для цинковых и 0,7 мэВ - для графитовых анализаторов при коллимации рассеянного пучка, равной  $4^\circ$ . Улучшение коллимации рассеянных нейтронов лишь незначительно уменьшает ширину упругого пика, но пропорционально углу коллимации уменьшает скорость счета. Применение графитовых анализаторов, благодаря высокой отражающей способности пиролитического графита, а также увеличению ширины упругого пика приводит к трехкратному увеличению скорости счета по сравнению с цинковыми анализаторами. Использование только бериллиевого фильтра для анализа энергии рассеянных нейтронов увеличивает ширину энергетического окна до 2 мэВ при средней энергии анализа, равной 4 мэВ. Это приводит к значительному уменьшению разрешающей способности спектрометра, но позволяет быстро исследовать поведение образца при фазовых переходах <sup>/21/</sup>, поскольку скорость счета увеличивается более чем

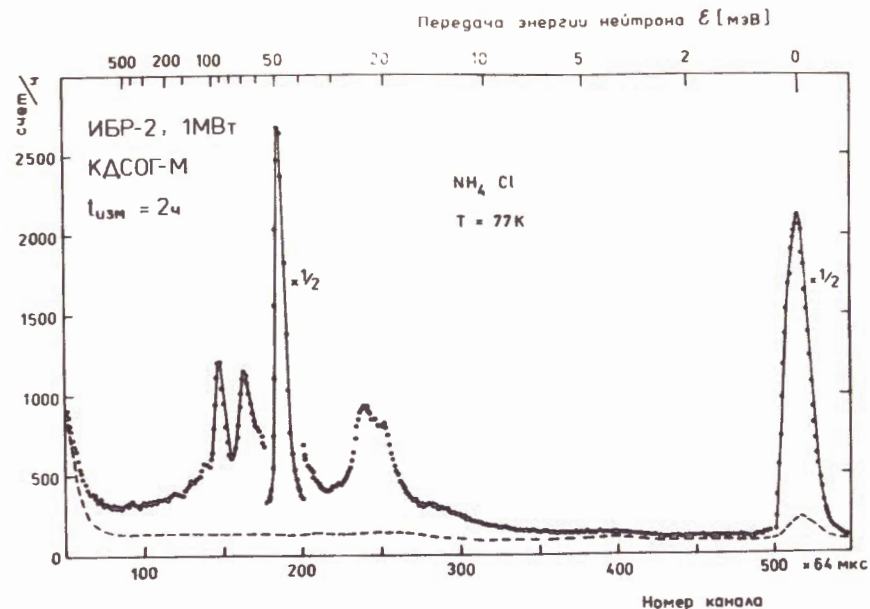


Рис. 5

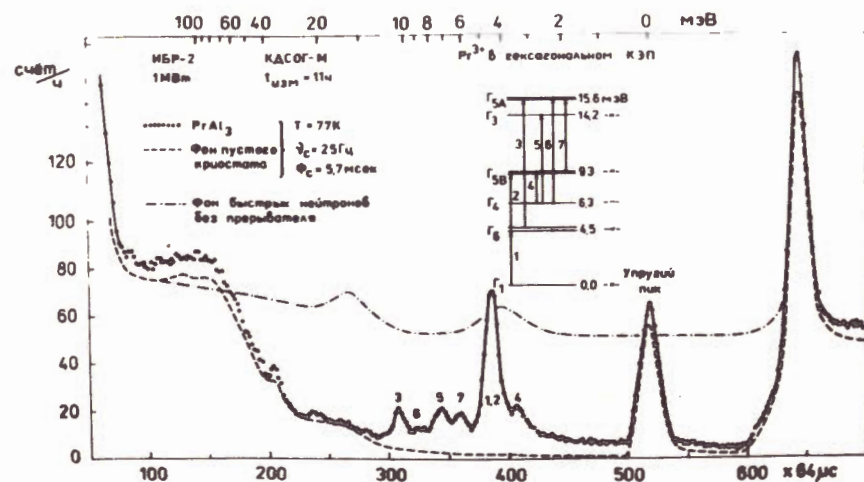


Рис. 6

в 20 раз по сравнению со скоростью счета для цинковых монохроматоров.

Применение поликристаллического фильтра в системе анализа энергии рассеянных нейтронов позволяет избавиться от высших порядков отражения и регистрировать только одну энергию отражения от монокристалла, но ограничивает ее значение границей пропускания фильтра. Следствием этого является ограничение возможности исследования неупругого рассеяния нейтронов на установке КДСОГ-М до процессов отдачи энергии нейтронов на образце. Однако такой процесс предпочитается для исследований однофононного рассеяния, которые требуют также низкой температуры образца<sup>/12/</sup>. Небольшая величина энергии анализа рассеянных нейтронов не позволяет также вести исследования в широком интервале передачи импульса нейтронов. Такие исследования нужны для получения достоверной информации о динамике образцов, обладающих когерентным сечением рассеяния нейтронов. На рис.7 показан интервал передачи импульса нейтронов для спектрометра КДСОГ-М. Как видно, этот интервал представляет довольно узкую полосу на плоскости  $(Q, \omega)$ , где  $Q$  обозначает передачу импульса, а  $\omega$  - передачу энергии нейтрона. Это ограничение несущественно для исследований сечений некогерентного неупругого рассеяния нейтронов, которые являются монотонными функциями передачи импульса. Таким образом на спектрометре КДСОГ-М наиболее перспективно исследование образцов, содержащих водород, поскольку он обладает большим сечением неупругого некогерентного рассеяния нейтронов. Исследование таких образцов в широком интервале передачи энергии и узком интервале передачи импульса позволяет суммировать неупругие спектры для разных углов рассеяния, что очень сокращает время эксперимента.

Скорость счета дифракционных нейтронов на установке КДСОГ-М в среднем на два порядка больше, чем скорость счета неупругого

рассеяния. Однако для водород-содержащих образцов дифракционные отражения измеряются на большом фоне некогерентного рассеяния, так что полезная информация о динамике и структуре образца набирается примерно с одинаковой скоростью.

В случае исследований уровней кристаллического поля для парамагнитных ионов методом неупругого магнитного рассеяния нейтронов очень важны измерения небольших передач энергии для малых передач импульса. Как видно из рис.7, эти условия хорошо выполняются на спектрометре

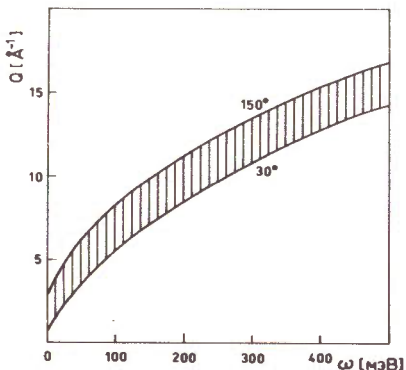


Рис. 7

КДСОГ-М. В сплавах, содержащих парамагнитные ионы, при понижении температуры образца происходят фазовые переходы, сопровождающиеся изменением магнитной структуры. Информация о магнитном упорядочении получается на основе дифракционных спектров, что требует измерения этих спектров с очень хорошей статистикой. Таким образом, полезную информацию о магнитных структурах и уровнях кристаллического поля также можно получать примерно с одинаковой скоростью.

### 3. ФУНКЦИЯ РАЗРЕШЕНИЯ

Интенсивность нейтронов  $N(t_0)$ , регистрируемых в момент  $t_0$  после старта временного анализатора с хорошим приближением, описывается формулой<sup>/4,12/</sup>:

$$N(t_0) = \Delta t_0 \iiint dE_i dE_f dt F(E_i, E_f, t_0, t) \sigma(E_i, E_f, \phi, T), \quad /2/$$

где:  $\Delta t_0$  - интервал времени, отвечающий ширине временного канала анализатора;  $F(E_i, E_f, t_0, t)$  - аппаратная функция, описывающая разрешение спектрометра;  $\sigma(E_i, E_f, \phi, T)$  описывает закон рассеяния нейтронов на образце, который в общем виде зависит от энергии  $E_i$  и  $E_f$  падающих и рассеянных нейтронов, угла рассеяния  $\phi$  и температуры образца  $T$ .

В расчетах разрешающей способности закон рассеяния представлялся в виде  $\delta(E_i - E_f - \omega)$  для заданного значения передачи энергии  $\omega$ . Аппаратная функция имеет вид

$$F(E_i, E_f, t_0, t) = \rho(E_i, t) \Phi(E_i) \eta(E_f) \delta(t_0 - t - \frac{\alpha L_1}{\sqrt{E_i}} - \frac{\alpha L_2}{\sqrt{E_f}}), \quad /3/$$

где:  $\rho(E_i, t)$  описывает временное распределение нейтронов, падающих на образец с энергией  $E_i$ ;  $\Phi(E_i)$  представляет энергетическое распределение нейтронов, выходящих из замедлителя;  $\eta(E_f)$  - энергетическое распределение нейтронов после рассеяния. Функция

$$\delta(t_0 - t - \frac{\alpha L_1}{\sqrt{E_i}} - \frac{\alpha L_2}{\sqrt{E_f}})$$

представляет условие регистрации в момент

$t_0$  нейтрона, вышедшего из источника в момент  $t$  с энергией  $E_i$  и рассеянного на образце до энергии  $E_f$  /  $L_1$  и  $L_2$  обозначают пролетные базы замедлитель - образец и образец - детектор соответственно,  $\alpha$  - коэффициент пересчета энергии нейтрона на скорость/.

Временное распределение падающих нейтронов  $\rho(E_i, t)$  вычислялось как свертка формы импульса быстрых нейтронов ИБР-2 /функция Гаусса с шириной 235 мкс/ с функцией, описывающей процесс замедления нейтронов<sup>/22/</sup>.

$$Z(t, E) \sim \frac{1}{r(E_i)} \exp[-t/\tau(E_i)] \operatorname{sgnt}, \quad /4/$$

Для плоского замедлителя толщиной 5 см  $\text{H}_2\text{O}$  время жизни нейтронов в замедлителе  $r(E_i)$  описывается формулой /23/:

$$r(E_i) = 64 \cdot [1 - \exp(-E_i/32)], \quad /5/$$

где  $E_i$  выражено в мэВ.

Для гребенчатого замедлителя, установленного на реакторе ИБР-2, по данным /19/, было получено

$$r(E_i) = 210 \cdot [1 - \exp(-E_i/113,2)]. \quad /6/$$

Энергетическое распределение нейтронов, выходящих из замедлителя  $\Phi(E_i)$ , определялось согласно результатам подгонки по формуле /1/ экспериментальных спектров упругого рассеяния на ванадии. Энергетическое распределение регистрируемых нейтронов  $n(E_f)$  получено с учетом функции пропускания бериллиевый фильтра /3/ и гауссового распределений нейтронов, отраженных от кристаллического анализатора. Ширина этого распределения считалась равной энергетической ширине на половине высоты упругого пика. Таким образом учитывается коллимация пучков, которая прямо не входит в формулы /2/ и /3/.

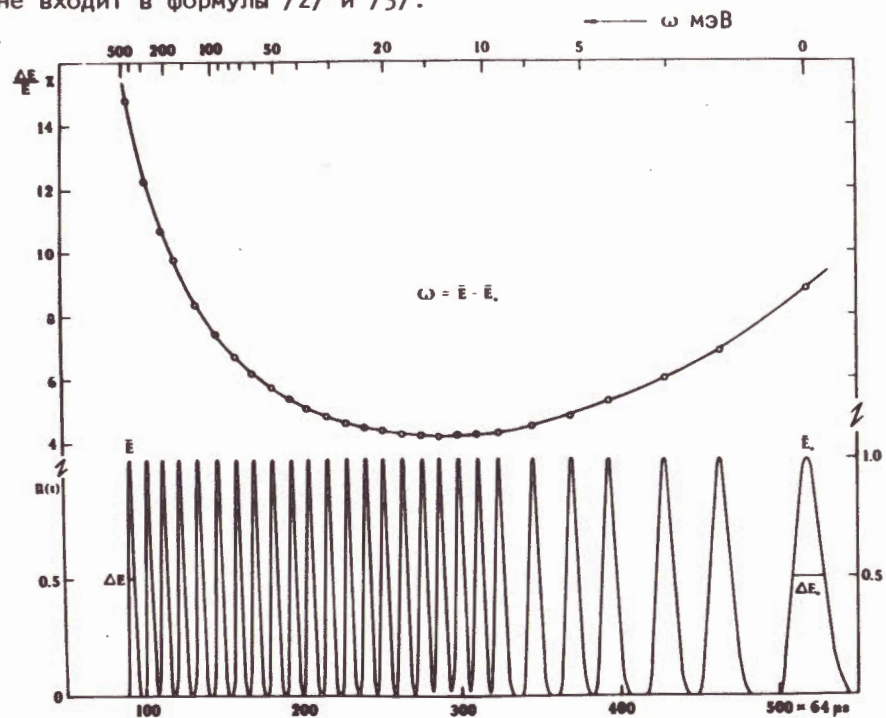


Рис. 8

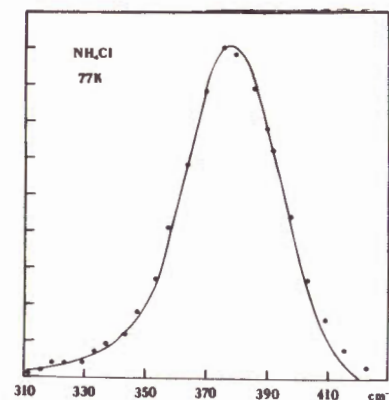


Рис. 9

Результаты расчета функции разрешения спектрометра КДСОГ-М для плоского водяного замедлителя представлены на рис.8. Высота расчетных функций разрешения нормирована на единицу, что облегчает определение полуширины этих функций. В эксперименте они нормируются на поток нейтронов, выходящих из замедлителя  $\Phi(E_i)$ . Кривая, отвечающая энергии  $\bar{E}_0 = 4,9$  мэВ, воспроизводит форму упругого пика для цинкового монохроматора, что подтверждает правильность наших расчетов. Верхняя кривая на рис.8 представляет относительное энергетическое разрешение спектрометра, определенное как процентное соотношение ширины функции разрешения на половине высоты до средней энергии падающих нейтронов при заданной передаче энергии  $\omega$ .

На рис.9 приведено сравнение экспериментально измеренной формы пика неупругого рассеяния на  $\text{NH}_4\text{Cl}$  при  $377 \text{ см}^{-1} / \text{см}$ . рис.5/ с расчетной функцией разрешения /сплошная линия/. Собственная ширина этого пика очень мала, поскольку он отвечает почти бездисперсионной ветви торсионных колебаний групп  $\text{NH}_4$  в кристалле /24/. Хорошее совпадение экспериментальных точек с расчетной

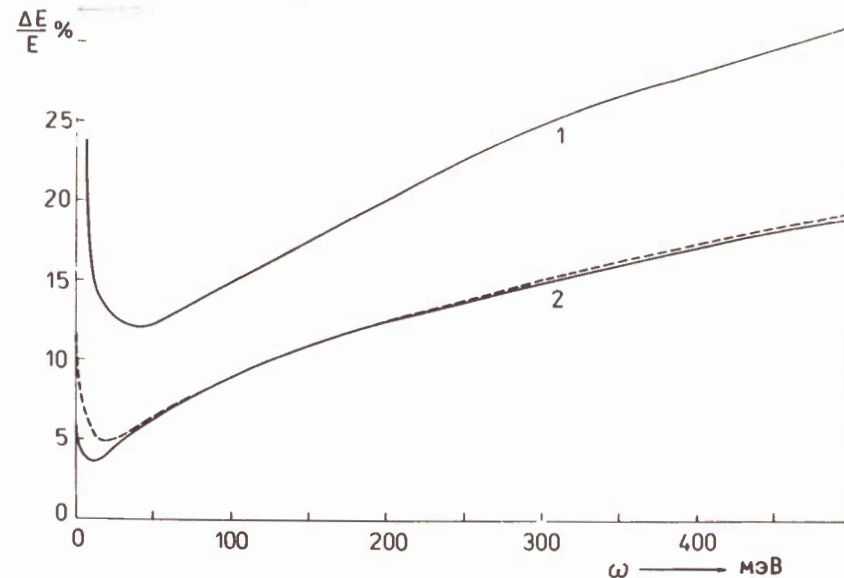


Рис. 10

кривой подтверждает правильность определения аппаратурных функций в формуле /3/, а также справедливость математической модели функции разрешения, предложенной в /3,4/, для спектрометра обратной геометрии.

Относительное разрешение для гребенчатого замедлителя, работающего на реакторе ИБР-2, при разных анализаторах энергии спектрометра КДСОГ-М, представлено на рис.10. Кривая 1 отвечает анализу спектров при помощи только бериллиевого фильтра, а кривые 2 отвечают кристаллическим анализаторам цинка /сплошная линия/ и пиролитического графита /штрихованная линия/ соответственно.

Видно, что для области передачи энергии выше 50 мэВ разрешение практически не зависит от ширины упругого пика, а определяется временным разрешением, которое зависит от ширины импульса быстрых нейтронов и пролетной базы реактор - образец. Таким образом для спектрометра КДСОГ-М лучшим анализатором энергии является сочетание бериллиевого фильтра и монокристаллов пирографита.

Разрешающая способность для дифракционных измерений и другие основные физические параметры установки КДСОГ-М приведены в табл.2.

Таблица 2

Основные физические параметры установки КДСОГ-М

Средний поток термических нейтронов на образце при мощности реактора ИБР-2 2 МВт

-  $6,6 \cdot 10^6$  н/см<sup>2</sup> с

- гребенчатый замедлитель  
Интервал анализируемых длин волны нейтрона

-  $0,5 \div 4,5$  Å

Временное разрешение  $\frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$

-  $7 \div 1\%$

в интервале  $\lambda = 0,4$  Å до  $\lambda = 4,5$  Å  
Интервал передачи импульса для дифракции нейтронов /от  $\lambda = 4,5$  Å при  $2\theta = 30^\circ$  до  $\lambda = 0,4$  Å при  $2\theta = 150^\circ$ /

-  $0,7 \div 30$  Å<sup>-1</sup>

Разрешающая способность дифракционных измерений:  $|\frac{\Delta d}{d}| = |\frac{\Delta \lambda}{\lambda}| +$

-  $14-7,5\%$

+  $|\frac{\Delta \theta \operatorname{ctg} \theta}{\lambda}|$   
а/  $\lambda = 10,4 \div 4,5$  Å,  $2\theta = 30^\circ$ ,  $\Delta \theta = 1^\circ$

-  $7,5 \div 1,5\%$

б/  $\lambda = 10,4 \div 4,5$  Å,  $2\theta = 150^\circ$ ,  $\Delta \theta = 1^\circ$

Конечная энергия регистрируемых нейтронов для неупругого рассеяния  
Интервал передачи энергии

-  $4 \div 5$  мэВ

-  $1 \div 500$  мэВ

Энергетическое разрешение неупругого рассеяния для передачи энергии в интервале  $10 \div 500$  мэВ

а/ бериллиевый фильтр -  $12 \div 30\%$

б/ графитовый анализатор -  $5 \div 18\%$

в/ цинковый анализатор -  $4 \div 18\%$

Характерное время измерения неупругих спектров при мощности ИБР-2 1 МВт

-  $2 \div 20$  ч

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные к настоящему времени измерения на установке КДСОГ-М доказали ее высокую эффективность для исследований в области физики конденсированных сред. Наилучшие экспериментальные условия имеются в диапазоне передач энергии 1-40 мэВ, где обеспечивается низкий уровень фона и неплохое разрешение в сочетании с высокой светосилой. В данной области энергий можно исследовать изменения динамики решетки кристаллов при фазовых переходах, спектры колебаний аморфных веществ и низкочастотные внутримолекулярные колебания в молекулярных кристаллах. В этой же области лежат значения энергий переходов между уровнями парамагнитных ионов в кристаллическом поле.

Как показали последние эксперименты /13,21/, одновременные исследования динамики и структуры образцов существенно повышают качество получаемой информации при исследованиях фазовых переходов.

Для более высоких передач энергии /50-500 мэВ/ экспериментальные условия менее благоприятны. Эта область спектров на установке КДСОГ-М анализируется при открытом окне вращающегося прерывателя, что приводит к увеличению фона. Разрешающая способность для этих энергий ограничена шириной нейтронной вспышки реактора. Однако, поскольку исследования в области передач энергии выше 100 мэВ очень затруднены на стационарных реакторах, но возможны на импульсных источниках нейтронов, то на настоящем этапе более существенным фактором является светосила установки. Эксперименты, проведенные на гидридах металлов, показали высокую эффективность спектрометра КДСОГ-М для исследований колебаний водорода в кристаллической решетке.

Лучшего разрешения для исследований в области выше 50 мэВ можно будет достичь на более длинной базе реактор - образец.

Авторы выражают искреннюю благодарность И.М.Франку, Е.А.Янику, В.Д.Ананьеву, Ю.М.Останевичу, Г.П.Жукову за постоянный интерес и поддержку, которые способствовали созданию установки КДСОГ-М; Т.Пукале и В.Пабиану /ИЯФ, Краков/ - за помощь в монтаже механической части; Ф.Вайдхазе, О.И.Елизарову и В.И.Чив-



кину за помощь в создании электронной части; К.Кречун за помощь в расчетах функции разрешения спектрометра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ananiev V.D. et al. In: Inst.Phys.Conf., 1983, Ser. No. 64, Sect. 9, p. 497-502.
2. Frank I.M., Pacher P. Physica, 1983, 120B, p. 37-44.
3. Байорек А. и др. ОИЯИ, Р-1899, Дубна, 1963; Байорек А. и др. In: Inelastic scattering of neutrons, IAEA, Vienna, 1965, vol. II, p. 519-535.
4. Parlinski K. et al. In: Research Applications of Nuclear Pulsed Systems, IAEA, Vienna, 1967, p. 179-185.
5. Комаров В.Э., Кухто О.Л., Соловьев С.П. ПТЭ, 1970, 4, с. 29-33.
6. Sköld K., Crawford K., Chen S.N. Nucl.Instr. Meth., 1977, 145, p. 115-117.
7. Ишмаев С.Н. и др. ПТЭ, 1981, 4, с. 21-23.
8. Richardson R.M. Report RL-82-035, Chilton, UK, 1981.
9. Ikeda S., Watanabe N. Physica, 1983, 120B, p. 131-135.
10. Buras B. In: Research Applications of Nuclear Pulsed Systems. IAEA, Vienna, 1967, p. 17-34.
11. Natkaniec I. et al. JINR, E14-3825, Dubna, 1968; Natkaniec I. et al. In: Neutron inelastic scattering. IAEA, Vienna, 1968, v. I, p. 65.
12. Бохенков Э.Л., Натканец И., Шека Е.Ф. ЖЭТФ, 1976, 70, с. 1027-1043.
13. Belushkin A.V. et al. Physica, 1983, 122B, p. 217-226.
14. Балуга Г. и др. ОИЯИ, 13-82-367, Дубна, 1982.
15. Бёттге М. и др. ОИЯИ, P11-80-422, Дубна, 1980.
16. Weidhase F. et al. ReUprt 05-28-78, TU-Dresden, 1979.
17. Mildner D.F.R. et al. Nucl.Instr.Meth., 1978, 152, p.437-446.
18. Силин И.Н. ОИЯИ, 11-3362, Дубна, 1967.
19. Гундорин Н.А., Назаров В.М. ОИЯИ, P3-80-721, 1980.
20. Andreeff A. et al. Phys.Stat.Sol.(b), 1972, 87, p. 535.
21. Белушкин А.В. и др. ОИЯИ, P14-83-855, Дубна, 1983.
22. Carpenter J.M. et al. Report RCN-234, Petten, USA, 1975.
23. Байорек А. и др. ОИЯИ, P3-8904, Дубна, 1975.
24. Venkataraman G., Sahni V.S. Rev.Mod.Phys., 1970, 42, p. 409-423.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 апреля 1984 года.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Балука Г. и др.  
Спектрометр обратной геометрии КДСОГ-М на реакторе ИБР-2

P13-84-242

Описывается спектрометр обратной геометрии для исследований неупругого рассеяния нейтронов с одновременным контролем фазового состава образца по дифракции нейтронов. Анализаторами переданной нейтроном энергии служат бериллиевый фильтр и монокристаллы цинка или пирографита, установленные перед детекторами. Спектрометр создан на импульсном реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ и позволяет проводить измерения неупругого рассеяния и дифракции нейтронов в интервале энергий от 0,5 до 0,003 эВ. Одновременно измеряются спектры для четырех детекторов дифракции и четырех детекторов неупругого рассеяния в интервале углов от 30° до 150°. Приведены основные параметры установки, падающие спектры нейтронов, фоновые условия. Рассчитана разрешающая способность установки. Правильность расчета проверена экспериментально.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой.

Baluka G. et al.

P13-84-242

KDCOG-M Inverted Geometry Spectrometer on IBR-2 Reactor

The inverted geometry spectrometer intended for inelastic neutron scattering with a simultaneous control of sample structure by the neutron diffraction is described. Beryllium filters and zink or pyrolytic graphite monocrystal placed in front of detectors are used as monochromators of scattered neutrons. The spectrometer has been designed on the IBR-2 pulsed reactor. It permits to perform measurements of inelastic and elastic scattering in 0.5 up to 0.003 eV neutron energy range. The measurements of four diffraction and four inelastic scattering spectra can be performed simultaneously in the scattering angle range from 30° to 150°. The spectrometer basic parameters, incident neutron flux and background conditions are discussed. The resolution function is calculated and test measurements are performed.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984