

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ44.1л
Г-522

10/2-76
14 - 9486

И.А.Гладких, Н.Кроо, Ш.Салаи, В.Г.Симкин,
Ф.Ференци, Л.Чер

1788/2-76

СПЕКТРОМЕТР **КОРАН** НА РЕАКТОРЕ ИБР-30

(Модельный вариант)

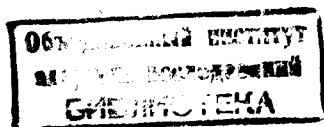
1976

14 - 9486

И.А.Гладких, Н.Кроо, Ш.Салаи, В.Г.Симкин,
Ф.Ференци, Л.Чер

СПЕКТРОМЕТР КОРАН НА РЕАКТОРЕ ИБР-30

(Модельный вариант)



Введение

В предыдущих работах^{/1-3/} была изложена идея применения метода корреляционного анализа /КОРАН/ при работе на импульсных источниках нейтронов. Там же приведены его описание и первые данные проверки предложенной методики. В результате было показано, что корреляционная техника в сочетании с импульсными источниками нейтронов, действительно, позволяет получить двухмерный спектр рассеянных нейтронов. Были измерены спектры рассеяния на плексигласе /2/ и на магнетите /3/. В обоих случаях наблюдались только упругие пики. Ширина каналов по оси времени пролета на базе образец-детектор (t_2) была ограничена числом оборотов электродвигателя, равным 1500 в мин., а число сегментов корреляционного прерывателя было равно только 63. Это число обуславливалось объемом памяти анализатора, не превышавшим $63 \times 64 \sim 4$ К слов. /Здесь число 64 соответствует количеству временных каналов/.

Естественно, условия эксперимента были далеки от оптимальных и не дали возможности наблюдать неупругие процессы рассеяния, изучение которых является конечной целью создания спектрометра со статистическим прерывателем на импульсном источнике нейтронов.

В настоящей работе приводится описание улучшенного модельного варианта корреляционного спектрометра и результаты наблюдения фоновый спектра алюминия.

Описание установки

Схематический вид установки приводится на *рис. 1*. Нейтроны, испущенные в момент времени $t=0$, пролетают

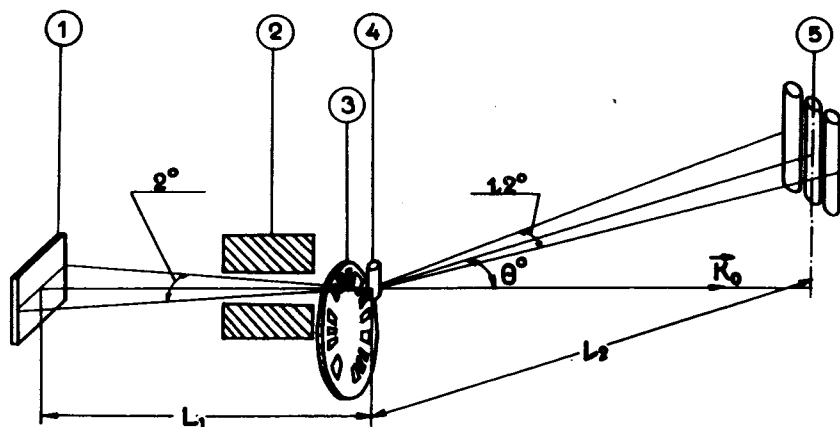


Рис. 1. Схематический вид установки: 1 - замедлитель, 2 - коллиматор, 3 - прерыватель, 4 - образец, 5 - детектор, θ - угол рассеяния, L_1 и L_2 - пролетные базы, K_0 - направление падающего пучка.

первую пролетную базу $L_1 = 9,8$ м и коллимируются в пучок с угловым раствором $\sim 2^\circ$. При этом образец "видит" всю поверхность замедлителя, т.е. используется максимально возможная интенсивность падающего пучка. Прерыватель 3 представляет собой алюминиевый диск диаметром 30 см, на краю которого расположены в псевдослучайном порядке 127 сегментов /из них 64 закрытых фольгой из Cd толщиной 1 мм и 63 открытых/. Средняя ширина сегментов составляет 5,5 мм, а высота - 40 мм.

Прерыватель приводится в движение электродвигателем переменного тока с максимальной мощностью -80 Вт и плавной регулировкой числа оборотов до 8000 об/мин. Необходимое изменение фазы между вспышками реактора и положением прерывателя /2,3/обеспечивается случайной модуляцией числа оборотов, производимой с помощью мониторингового счетчика. Этот счетчик сбрасывает мощность мотора каждые 30-40 с на долю секунды после набора определенного количества импульсов от фоновых нейтронов. Это устройство применялось когда колебания напряжения в сети были недостаточны для создания условия

случайного блуждания фазы. В обоих случаях средняя глубина модуляции числа оборотов не превосходила $\sim 1\%$. Вероятность появления разных фаз контролировалась и регистрировалась при помощи малой ЭВМ типа ТРА-1.

Поскольку ширина каналов в направлении t_2 сильно влияет на разрешающую способность, число оборотов мотора было выбрано достаточно большим / ~ 6000 об/м/, что соответствует ширине канала ~ 80 мкс.

Образец располагался на расстоянии 12 см от прерывателя, и его положение изменялось при помощи дистанционного управления вращением вокруг вертикальной оси. Рассеянные образцом нейтроны по нейтроноводу, наполненному аргоном, попадали в детектор, находящийся на расстоянии $L_2 = 6,9$ м от образца. Угловой размер детектора составлял $1,2^\circ$ в горизонтальном и 3° в вертикальном направлениях. В качестве детекторов были использованы счетчики, наполненные газом He_3 до давления 5 атм. Детекторная система могла перемещаться в диапазоне углов от 0° до 65° относительно падающего пучка.

Для нормировки спектров использовался борный счетчик низкой эффективности, расположенный так, чтобы счет его был пропорционален мощности реактора.

Электронная аппаратура спектрометра

Электроника, относящаяся к детекторной системе и контролирующая положение прерывателя, была описана ранее /3,4/.

Накопление, предварительная обработка, а также представление на дисплее данных производилось с помощью малой ЭВМ типа ТРА-1, снабженной входным блоком детекторных импульсов и соответствующими блоками интерфейса, выполненными в стандарте КАМАК. Блок-схема электронной системы установки приведена на рис. 2. Работа ТРА-1/1/ проходит на трех уровнях: i - автономное запоминание данных по каналу прямого доступа /КПД/; ii - обслуживание периферийных устройств по каналам прерывания программы /телетайп, дисплей, система КАМАК/; iii - программное обслуживание

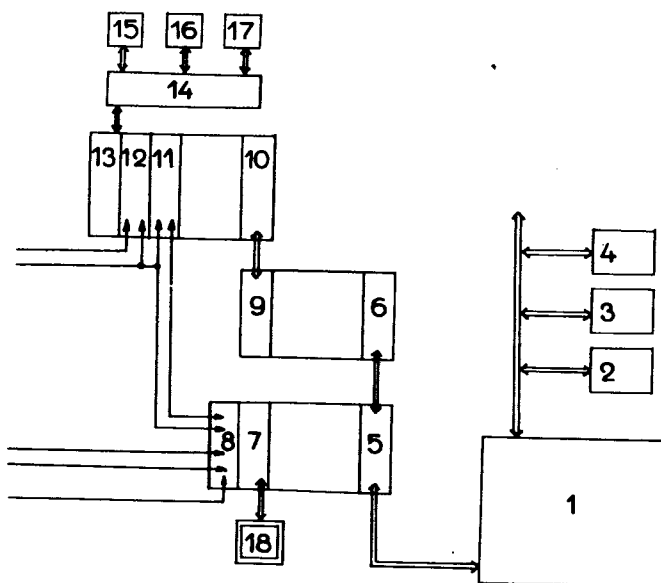


Рис. 2. Схема электронной части корреляционного спектрометра: 1 - ЭВМ ТРА-1, 16К. 2 - фотоввод типа FS-1501. 3 - телетайп. 4 - быстрый перфоратор. 5-6 - преобразователь внешней шины. 7 - интерфейс графического дисплея. 8 - интерфейс входных сигналов по автономному каналу. 9 - привод ветвей. 10 - контроллер. 11 - временной кодировщик типа ВК-5. 12 - счетчики и таймер. 13 - блок связи. 14 - коммутатор ИЦ. 15 - ЭВМ БЭСМ-4. 16 - цифрорепечатка. 17 - графикопостроитель. 18 - дисплей.

периферийных устройств и выполнение команд экспериментатора.

При этом допускается прямой доступ к памяти в пределах от 0 до 14 разрядов, который обеспечивается входным блоком детекторных импульсов/ т.е. запоминается не адрес события, а само событие по прямому адресу/.

Объем памяти использованной ТРА-1 составлял 16 К 12-разрядных слов. Память легко разбивается на двумерные области размером 256 x 64 или 128 x 128 элементов. В последнем случае блок, принимающий импульсы, содержит адресный регистр из 14 разрядов.

В свою очередь, этот регистр состоит из двух последовательных 7-разрядных регистров.

Младшие 7 разрядов адреса задаются импульсами от фотодатчика положения прерывателя. После завершения одного оборота диска прерывателя регистр переводится в исходное положение с помощью импульса второго фотодатчика, задающего начало псевдослучайного ряда на прерывателе.

Старшие 7 разрядов адресного регистра управляются временным кодировщиком, выполненным в стандарте КАМАК. Стартовый импульс реактора устанавливает регистр старших разрядов в исходное положение, после чего импульсы генератора времени вырабатывают значение адреса временных каналов. Ширина канала, т.е. время между двумя импульсами генератора, может быть выбрана в широком диапазоне от 2 до 1024 мкс /5/. Оптимальному выбору ширины временных каналов соответствует значение, близкое к времени прохождения одного сегмента прерывателя через пучок. Это время при 6000 об/мин составляет 79 мкс, поэтому ширину временного канала выбирали равной 64 мкс или 128 мкс.

Появление детекторного импульса на входе /8/ инициирует одноцикловый перенос данных в память машины /1/. При этом ЭВМ заканчивает текущую операцию, и в соответствующую ячейку, адрес которой задается блоком /8/, занесется +1.

Для размещения программы измерения требуется объем памяти в 2К слов, для которого выделены первые 16 временных каналов. В этом же поле памяти имеется сегмент для контроля асинхронности вращения прерывателя по отношению к вспышке реактора. Для этой цели при появлении стартового импульса реактора проверяется мгновенный адрес, заданный положением прерывателя, и в соответствующий канал выделенного сегмента заносится +1. Если все фазы прерывателя появляются случайно и равномерно, то получается спектр, изображенный на рис. 3. Нормальное распределение числа фаз проверяется оценкой доверительной вероятности.

Программа управления, расположенная в свободных сегментах, по требованию экспериментатора производит корреляционный расчет любого временного сегмента,

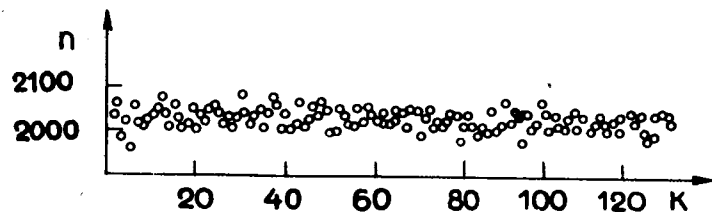


Рис. 3. Спектр распределения числа появления фаз (n) корреляционного прерывателя. K - положение прерывателя.

обеспечивает вывод содержания любого отрезка поля памяти либо на экран дисплея, либо на телетайп. Программа ведет контроль за постоянством в заданных пределах числа оборотов прерывателя и путем суммирования содержания сегментов определяет спектр рассеяния по времени пролета.

Та же программа управления обслуживает 4x24-разрядный счетчик /11/ и блок связи /13/ с коммутатором /10/, выполненные в стандарте КАМАК /6/. Счетчик служит для регистрации мониторинговых импульсов, числа стартовых импульсов реактора и для контроля числа оборотов корреляционного прерывателя.

Блок связи /13/ с коммутатором измерительного центра тоже выполнен в стандарте КАМАК.

Машина /1/ через блоки /5,6/ и /9/ (BRANCH DRIVER, CRATE CONTROLLER и DATA WAY) может передавать данные на машину БЭСМ-4, либо использовать быструю цифропечать или графикопостроитель измерительного центра ЛНФ.

Результаты эксперимента

Были проведены два типа измерений.

1. Рассеяние нейтронов монокристаллом алюминия, установленным под углом брэгговского отражения, приводит к появлению острых пиков в спектре, измеренном

по методу времени пролета /рис. 4а/, которые соответствуют отражениям /111/ и /222/. Корреляционный счет, произведенный в разных сегментах /рис. 4б, 4в, 4г/,

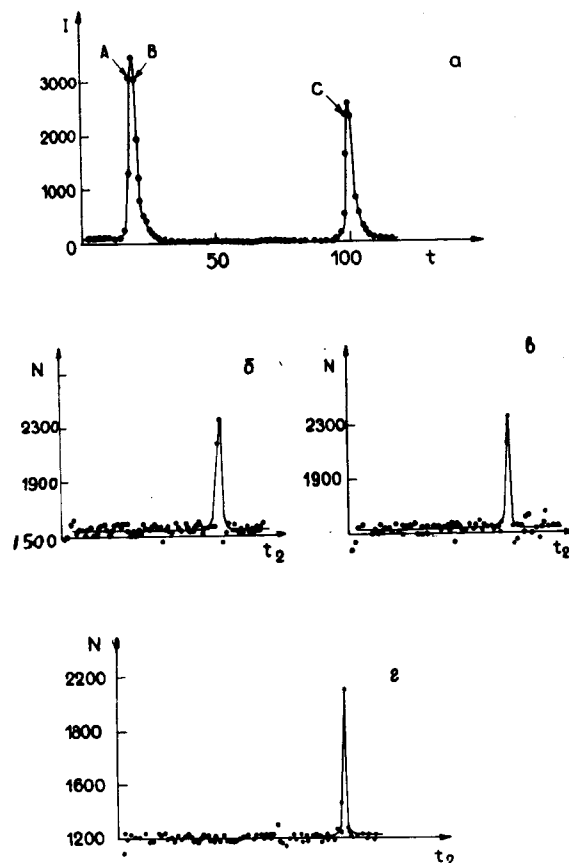


Рис. 4. Спектр рассеяния нейтронов на монокристалле алюминия. Угол рассеяния $\theta = \theta_{\text{Брэгг}} = 52,8^\circ$. а/Одномерный спектр времени пролета. t - время пролета от замедлителя до детектора минус время задержки. Ширина каналов 64 мкс, время задержки - 44 канала. б, в, г/ Корреляционные спектры точек А, В, С на рис. 4а. t_2 - время пролета нейтронов на второй базе плюс 35 каналов. Ширина каналов 80 мкс. Сдвиг на 35 каналов соответствует угловому расстоянию между местом прохождения пучка нейтронов и расположением датчика начала псевдослучайного ряда /старт прерывателя/.

соответствует упругим пикам, расположенным вдоль оси t_2 . Отметим, что ширина этих пиков значительно меньше, чем расположенных вдоль оси t , поскольку она задается эквивалентной вспышкой от корреляционного прерывателя, равной $\sqrt{2} \Delta_2$, где Δ_2 - ширина канала в направлении t_2 , определяемая числом оборотов и размерами прерывателя. В направлении t ширина пика задается шириной вспышки реактора /ввиду большого сечения брэгговского отражения входная щель была значительно сужена/. Время экспозиции равнялось 90 с.

2. По окончании измерений отражений Брэгга монокристалл алюминия был повернут на 6° по часовой стрелке вокруг вертикальной оси. При этом во временном спектре

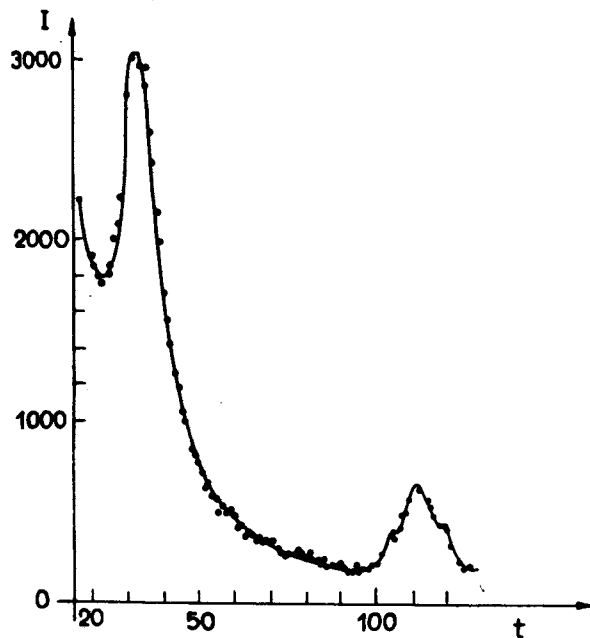


Рис. 5. Одномерный спектр времени пролета рассеянных нейтронов на монокристалле алюминия после поворота монокристалла на 6° по часовой стрелке вокруг вертикальной оси /011/ от положения Брэгга. Ширина каналов и время задержки - как в случае рис. 4. Время измерения составляло 29 ч.

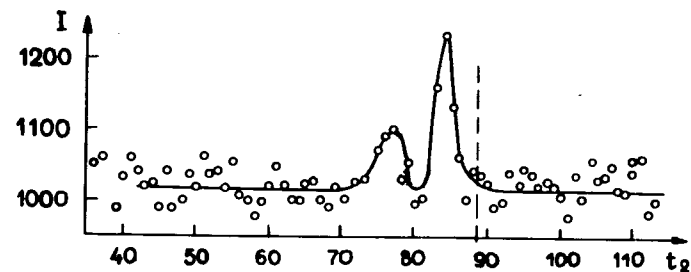


Рис. 6. Типичный сегмент двумерного спектра, содержащий два фоновых пика. Вертикальная прерывистая прямая показывает место упругой линии. t_2 соответствует рис. 4.

вместо острых пиков наблюдались более широкие пики /рис. 5/, которые соответствовали неупругим процессам рассеяния нейтронов. После проведения корреляционного счета обнаруживается, что сегменты содержат один или два пика, положение которых сильно отличается от положения упругих пиков /рис. 6/. Время измерения составляло 29 ч.

Обработка данных и обсуждение результатов

В ходе первичной обработки спектров считалось, что форма пиков близка к гауссовой, и с помощью метода наименьших квадратов были определены параметры этих гауссовых кривых.

Положение упругих пиков в спектре брэгговского отражения позволило нам определить точное значение угла рассеяния $\theta = 52,8^\circ$, а также проверить ход прямой упругих пиков на плоскости $(t; t_2)$.

Положения неупругих пиков $(t_1^i; t_2^i)$ вместе с углом рассеяния θ и углом поворота кристалла ϕ являются полной информацией для определения компонент импульса $(q_x; q_y)$ и энергии (ϵ) фонона, соответствующего данному пику.

Местонахождение некоторых неупругих пиков на плоскости $(t; t_2)$, измеренных нами, дано на рис. 7. Из того

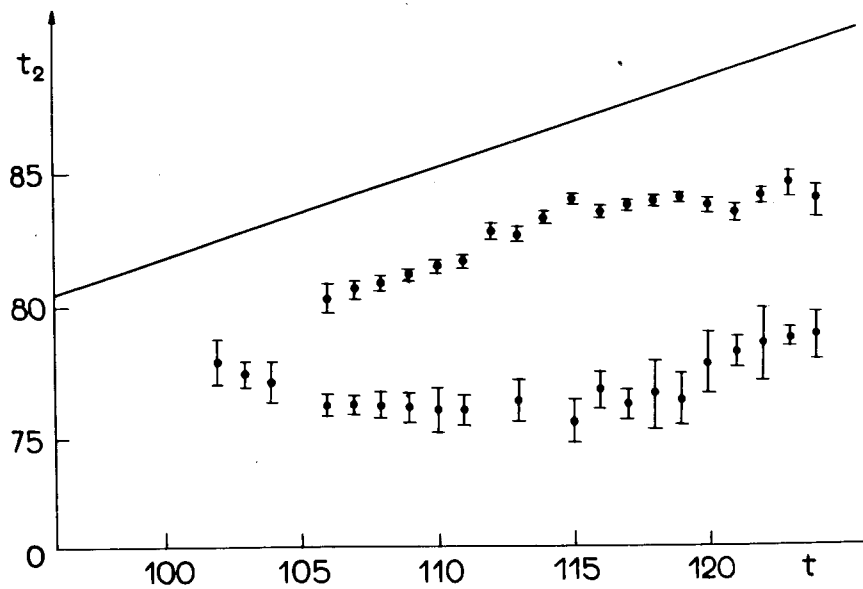


Рис. 7. Геометрическое место фононов алюминия на плоскости $(t; t_2)$. $\theta = 52,8^\circ$; $\phi = 6^\circ$. Сплошная прямая указывает линию упругих пиков. Ширина канала и время задержки - как на рис. 4.

факта, что пики находятся под упругой линией, следует, что процесс рассеяния нейтронов сопровождался поглощением фононов. На рис. 8 показано геометрическое место этих пиков на плоскости обратной решетки.

Поскольку энергия измеренных нами фононов принадлежит той части фононного спектра, где действует длинноволновое приближение, следует ожидать, что дисперсионные кривые слабо зависят от направления \vec{q} . Следовательно, результаты можно представить в виде $\epsilon(|q|)$ /рис. 9/.

Как уже ранее нами упоминалось, в качестве образца был выбран монокристалл алюминия по той причине, что результаты проведенных на нем измерений позволяют провести некоторые сравнения с нашими результатами.

На рис. 9 сплошные линии соответствуют продольной (L) и поперечной (T) ветвям дисперсионных кривых для

алюминия /7/. Полученные нами точки сгруппированы вдоль этих двух ветвей. Однако соответствие результатов неполное. Это объясняется тем, что коллимация падающего пучка была недостаточно жесткой. Действительно, расчет возможных допустимых коллимацией отклонений направления пучка от среднего его значения показывает, что, если принять эти отклонения за источник неопределенности величины импульса фононов, то все точки на $\epsilon, |q|$ диаграмме окажутся вблизи дисперсионных кривых Стедмана /7/ в пределах расчетной неопределенности. На рис. 10 изображен ряд точек из разных частей фононного спектра для иллюстрации нашего утверждения /отметим, что неопределенность величины $|q|$, связанная со статистической точностью измерения, не дает существенного вклада/.

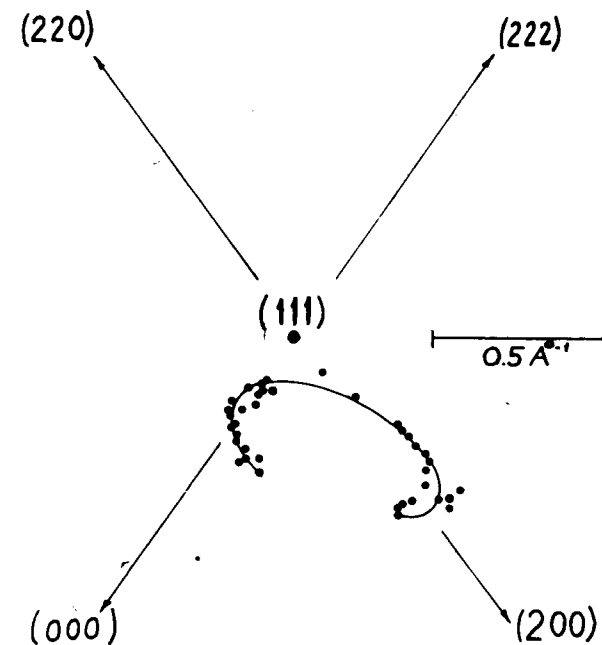


Рис. 8. Геометрическое место импульсов фононов на плоскости обратной решетки вблизи узла /111/.

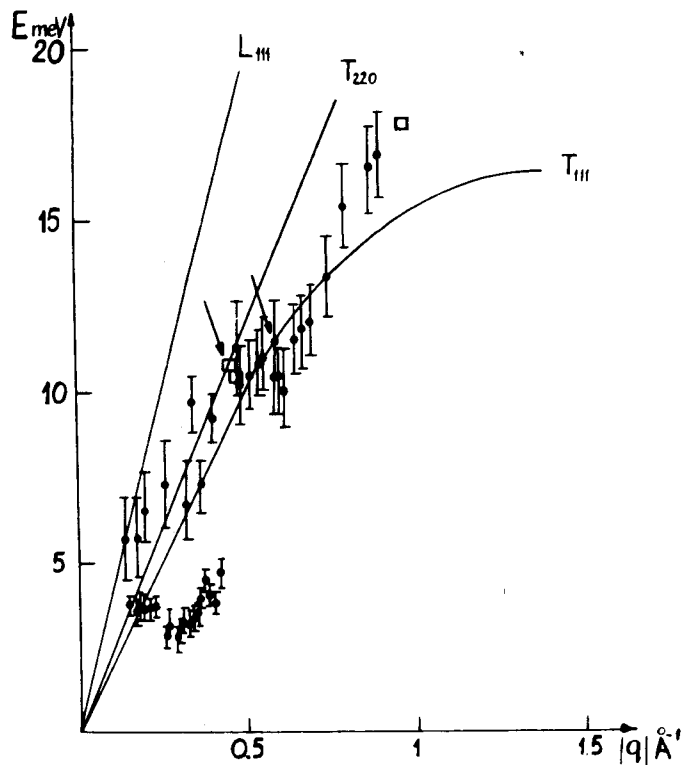


Рис. 9. Диаграмма зависимости энергии фононов (ϵ) от абсолютного значения их импульса ($|q|$). Сплошные линии соответствуют дисперсионным кривым в направлении /111/ продольной (L) и поперечной (T) ветвей по работе /7/. • - фононы вблизи узлов /111/ и /222/; □ - фононы, измеренные в работе /8/; стрелкой отмечены репрезентативные фононы, которые были взяты для сравнения отношения интенсивностей и разрешающих способностей корреляционного спектрометра и спектрометра ВКСН-300. Нанесенные ошибки соответствуют статистической точности измерения точек спектра.

Чтобы получить представление о светосиле метода, мы сравнили интенсивность (G) фононного пика, полученного на спектрометре ВКСН-300 /8/, и измеренного нами. При этом желательно сравнивать пики, полученные примерно в одних и тех же условиях. Однако угол рас-

сеяния корреляционного спектрометра сильно ограничен сверху ($\theta_{\max} = 60^\circ$), а все измерения, выполненные на ВКСН-300, были проведены при $\theta > 76^\circ$. Поэтому нам пришлось довольствоваться сравнением пиков, определенных только в приблизительно сходных условиях. Соответствующие пики изображены на рис. 11, а их место на дисперсионной диаграмме отмечено стрелками /рис. 9/.

Так как время измерения и величина поверхности образца в обоих случаях были разными, то сравниваем-

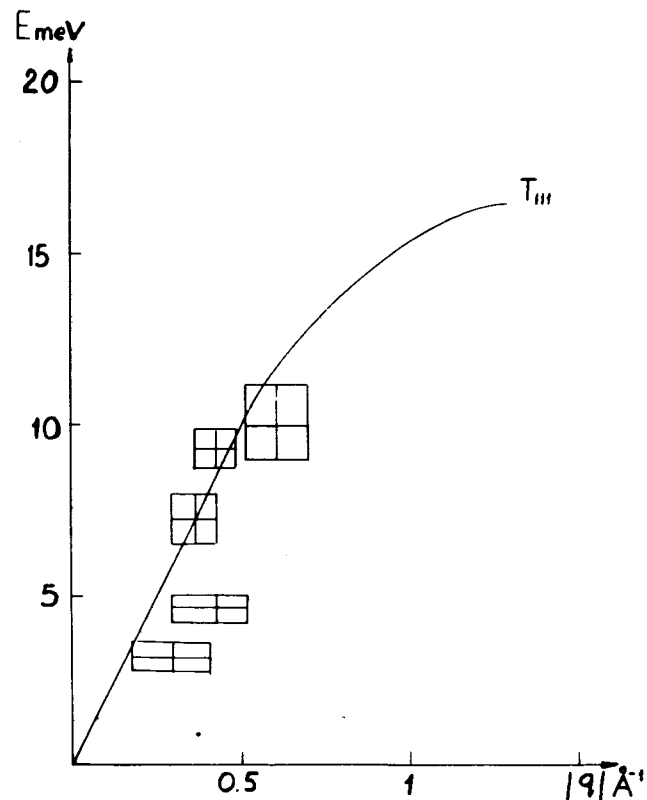


Рис. 10. Расчет неопределенности значения $|q|$, обусловленный входной коллимацией для некоторых характерных точек фононного спектра. Сплошная линия соответствует дисперсионной кривой из работы /7/.

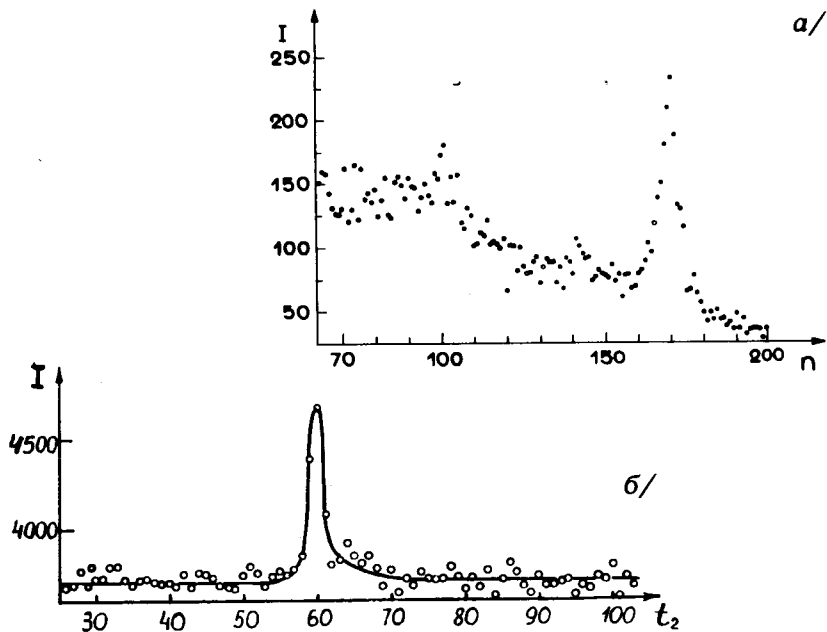


Рис. 11. а/ Спектр рассеяния нейтронов из работы /8/. $\theta = 94,5^\circ$, $\epsilon = 10,4$ МэВ, $|q| = 0,47 \text{ \AA}^{-1}$, $\lambda_{\text{падающая}} = 1,55 \text{ \AA}$. б/ Корреляционный спектр, содержащий фононы. Фононы на рис. 11а/и б/ отмечены на рис. 9 стрелками. $\lambda_{\text{падающая}} = 1,39 \text{ \AA}$.

ные величины $G \sim \frac{S}{\sigma^2}$ были соответственно норми-

рованы /здесь S - площадь пика, т.е. полное число отсчетов, приходящееся на один пик после вычитания фона, а σ^2 - статистическая ошибка полного числа отсчетов, определенная для каждого типа измерения/.

В результате для выбранных пиков получилось отношение

$$\frac{G_{\text{корр}}}{G_{\text{ВКСН-300}}} = 2,3. \quad /1/$$

Этот результат показывает, что при равных прочих условиях для измерения одного фонона корреляционный

метод приводит примерно к в два раза более быстрой скорости набора информации, чем метод измерения с помощью ВКСН-300. /При этом не учитывалась разница в факторах Дебая-Валлера, обусловленная разницей между значениями $|q|$ в двух экспериментах/. Учет этого фактора приводит к увеличению соотношения /1//. Преимущество корреляционного метода объясняется главным образом тем обстоятельством, что спектрометр ВКСН-300 в ходе одного цикла определяет параметры одного фонона, а корреляционный спектрометр в настоящем измерении - параметры 39 фононов одновременно.

В предыдущей работе /9/ мы предлагали характеризовать разрешающую способность установки отношением расстояния между упругим и неупругим пиками (Δ) к ширине пика (Γ). Такая характеристика позволяет более реально сравнивать разрешающие способности двух методов измерения.

На рис. 12 дана зависимость отношения $\frac{\Gamma}{\Delta}$ /т.е. обратная к разрешающей способности величина/ от пере-

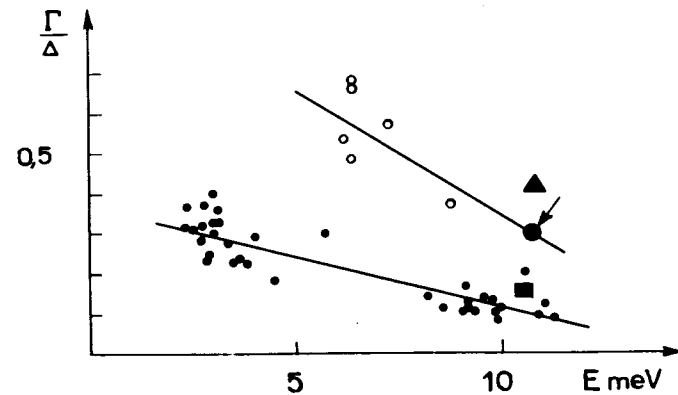


Рис. 12. Значение отношения Γ / Δ как функции энергии фононов. \bullet - фононы вблизи узла /111/; \circ - фононы вблизи узла /222/; \square - точка, взятая из работы /8/. Стрелкой отмечена точка, участвующая в расчетах сравнения разрешающих способностей корреляционного спектрометра и спектрометра ВКСН-300.

данной энергии. Обозначенная сплошным квадратом точка взята из работы /8/, а показанная сплошным кругом /отмечена стрелкой/ - получена нами и соответствует фону, который был рассмотрен при сравнении отношения интенсивности пиков. Отношение ординат указанных двух точек имеет значение 2,2. Согласно этому результату разрешающая способность спектрометра ВКСН-300 примерно в два раза лучше, чем разрешающая способность модельного варианта корреляционного спектрометра.

Оценка отношения разрешающей способности спектрометра времени пролета прямой геометрии к той же величине корреляционного спектрометра при одинаковой ширине пиков по формуле, взятой из работы /9/, дает

$$\frac{\delta_{\text{вр. пр.}}}{\delta_{\text{корр.}}} = \sqrt{2} \frac{L}{L_1} = 2,4, \quad /2/$$

что довольно близко к экспериментальному значению. /В действительности, такое сравнение можно проводить несколько условно, ибо спектрометр ВКСН-300 не является спектрометром времени пролета прямой геометрии/.

Соотношение /2/ справедливо, однако, только для модельного варианта корреляционного спектрометра. Действительно, величина $\Gamma_{\text{корр.}}$ легко уменьшается без дополнительной потери интенсивности с помощью увеличения числа оборотов прерывателя.

Выводы

Цикл измерений, проведенный с помощью описанной электроники на базе ТРА-1, показал надежность и стабильность работы модельного варианта корреляционного спектрометра. Применение ЭВМ дало возможность в ходе эксперимента проверять и контролировать некоторые параметры и функции установки, проводить расчеты спектров /например, корреляционный счет/ с выводом результатов на дисплей, что позволяет оперативно находить необходимые параметры спектров.

Хорошо зарекомендовал себя метод организации работы ТРА-1 с разбиением ее действия на три операционных уровня с разными приоритетами, благодаря чему в задачу программы управления не входила функция запоминания событий, что, в свою очередь, существенно снизило мертвое время спектрометра /до 2-х мкс/. Применение стандарта КАМАК в значительной степени облегчило создание электронной части спектрометра, а также повысило надежность его работы. Созданная измерительная система удобна в обращении и является достаточно гибкой для ее дальнейшего развития.

Результаты измерения спектра неупругого рассеяния нейтронов на монокристалле алюминия показывают, что параметры спектрометра соответствуют расчетным значениям и что количество информации /мерой которого условно принимаем интенсивность неупругих пиков, умноженную на их число и деленную на разрешающую способность/, полученное при помощи модельного варианта корреляционного спектрометра, значительно превосходит возможности спектрометра ВКСН-300 или спектрометра времени пролета прямой геометрии.

Мы ожидаем, что осуществление основного варианта корреляционного спектрометра приведет к значительному улучшению условий получения информации. Повышение интенсивности будет достигнуто за счет трехкратного увеличения площади элементарной щели прерывателя и увеличения количества детекторов на первом этапе до четырех. Разрешающую способность мы намерены улучшить за счет увеличения числа оборотов прерывателя.

Авторы приносят глубокую благодарность И.М.Франку за постоянный интерес к работе, Ю.М.Останевичу и Г.П.Жукову за полезные дискуссии и ценные замечания.

Литература

1. N.Kroo, P.Pellionisz. KFKI Report 71-45.
2. N.Kroo, P.Pellionisz, I.Vizi, G.Zsigmond, G.Zhukov, G.Nagy. Neutron Inelastic Scattering (1972). Proc. Symp. Grenoble IAEA, Vienna, 1972, p. 763.
3. И.Визи и др. Сообщение ОИЯИ, 13-8711, Дубна, 1975.

4. S.Deme, J.Horvath, N.Kroo, F.Szlavik, G.Zsigmond. *JINR Preprint, E14-5731, Dubna, 1971.*
5. И.П. Барабаш и др. Сообщение ОИЯИ, 11-8522, Дубна, 1975.
6. M.Sandory. CAM. 5.02. *Scaler-Timer description KFKI-73-8040 (1973).*
7. R.Stedman, G.Nilsson. *Phys.Rev., 145, 492 (1966).*
8. Л.Добжински и др. Сообщение ОИЯИ, 14-6577, Дубна, 1972.
9. И.А.Гладких и др. Сообщение ОИЯИ, 14-9485, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 января 1976 года.