

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований

дубна

СЗУЧ. 1ш

К-834

23/IV-79

P3 - 12118

Н.Кроо, Л.Насоди, Д.Рубин, В.Г.Симкин, Л.Чер

15.57/2-79

МНОГОДЕТЕКТОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ  
ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА

1979

РЗ - 12118

Н.Кроо, Л.Насоди, Д.Рубин, В.Г.Симкин, Л.Чер

**МНОГОДЕТЕКТОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ  
ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА**



Кроо Н. и др.

РЗ - 12118

**Многодетекторная система измерений для корреляционного спектрометра**

Работа посвящена совершенствованию методики измерений процессов рассеяния нейтронов на корреляционном спектрометре. Обсуждены вопросы рационального построения системы накопления данных от нескольких детекторов в рамках ограниченного объема памяти ЭВМ. Показано, что при решении задач по неупругому рассеянию нейтронов в случае одновременной работы шести детекторов возможно сэкономить половину объема памяти. Предложена новая, гибкая  $n$ -мерная система накопления данных, которая позволяет проводить любой  $n$ -мерный анализ, где  $n=1, 2, 3 \dots$ . В этом эксперименте предлагается аппаратная селекция данных в реальном масштабе времени.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Kroo N, et al.

PЗ - 12118

**Multidetector System for Correlation Spectrometer**

Methodical improvement of measurements of neutron scattering processes with the help of correlation spectrometer is described. It has been discussed how to construct reasonably a multidetector data acquisition system in the frame of limited volume of the computer memory. It is shown that in the case of a simultaneous measurement of the neutron inelastic scattering by six detectors, only a half of the computer memory is necessary. A new flexible hardware real-time selection system of experiments with  $n$  parameters is suggested, which is capable of carrying out any analysis of  $n$  dimension, where  $n=1, 2, 3 \dots$ . In this experiment the hardware data selection turned out to be in acceptable scale of time.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

**ВВЕДЕНИЕ**

Метод статистической модуляции в нейтронной спектроскопии /иными словами, корреляционная техника/ применяется во многих научных центрах <sup>/1/</sup>. Идея применения двух статистических прерывателей для более эффективного использования спектра нейтронов родилась в 1969 году <sup>/2/</sup>. Импульсный реактор можно рассматривать как классический прерыватель, и поэтому использование лишь одного статистического прерывателя позволяет проводить на нем двухмерный анализ процессов рассеяния по времени пролета. Под двухмерным спектром мы понимаем получение распределения импульсов падающих и рассеянных нейтронов.

Впервые для исследования неупругих процессов в 1971 году Н.Кроо и П.Пеллионис <sup>/3,4/</sup> предложили создать корреляционный спектрометр на импульсном реакторе. В работе <sup>/5/</sup> были рассмотрены некоторые вопросы, связанные с основными характеристиками корреляционного спектрометра /светосила, разрешение, геометрические размеры прерывателя, соотношение между пролетными базами/. В заключении работы <sup>/5/</sup> определена область применения данного спектрометра. В работах <sup>/4/</sup> и <sup>/6/</sup> представлены первые результаты физических измерений, выполненных на реакторе ИБР-30. В работе <sup>/4/</sup> измерения проводились на плексигласе, а в <sup>/6/</sup> - на магнетите, в результате были получены двухмерные спектры упругого рассеяния нейтронов. Исследование неупругих процессов в этих работах было затруднено малым количеством элементов псевдослучайного ряда, нанесенных на прерыватель, и относительно малой скоростью его вращения.

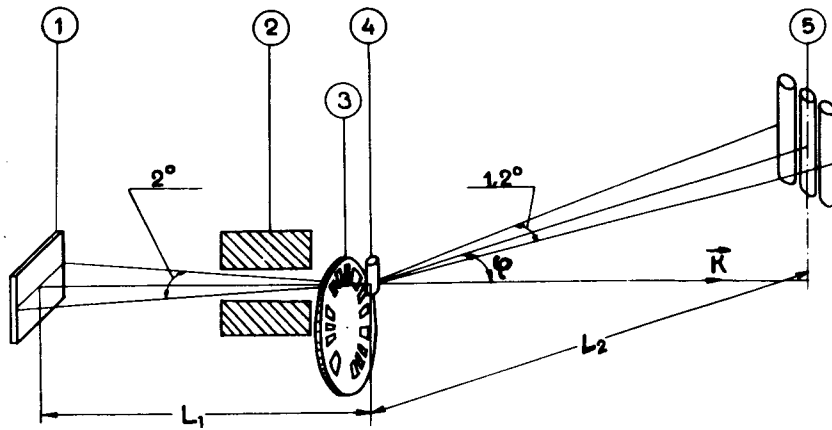


Рис.1. Схема спектрометра КОРАН. 1 - замедлитель, 2 - коллиматор; 3 - прерыватель; 4 - образец; 5 - детектор.

Дальнейшее развитие корреляционной техники и исследование фононного спектра монокристалла Al проведены в [7]. В этой работе описан спектрометр КОРАН, его схематическое изображение представлено на рис. 1. Нейтроны, испущенные реактором в момент времени  $t = 0$ , замедляются до тепловых скоростей и, проходя через коллиматоры, модулируются прерывателем, расположенным на расстоянии  $L_1$  от активной зоны реактора. Рядом с прерывателем размещен образец, и часть рассеянных им нейтронов попадает на детектор, находящийся на расстоянии  $L_2$  от образца. Рассеянные нейтроны регистрируются в ЭВМ типа ТРА-1 по двум параметрам:  $k$  - полному времени пролета /в каналах/ и  $j$  - положению прерывателя. ЭВМ в процессе измерений контролирует число оборотов прерывателя и равномерность распределения фазы. Детектор может быть расположен под различными углами  $\phi$  в горизонтальной плоскости, а образец, после юстировки, можно поворачивать вокруг вертикальной оси. Получаемые результаты можно изобразить на плоскости  $(T, T_2)$ , где  $T$  - полное время пролета, а  $T_2$  - время пролета базы  $L_2$ , определенное с помощью корреляционного анализа. Так как время пролета базы  $L_1$

$T_1 = T - T_2$ , то можно определить волновое число  $k_1 = cL_1/T_1$  падающего нейтрона и  $k_2 = cL_2/T_2$  - рассеянного нейтрона. Исходя из законов сохранения энергии и импульса и геометрии эксперимента, можно определить энергию и импульс возбуждений и построить дисперсионные кривые.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОДЕТЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ

При когерентном рассеянии нейтронов закон сохранения энергии и импульса можно представить в виде

$$\bar{k}_2 - \bar{k}_1 = \bar{\tau} + \bar{q}, \quad /1/$$

$$k_2^2 - k_1^2 = \epsilon(\bar{q}) / 2,073, \quad /2/$$

где  $\bar{k}_1$  и  $\bar{k}_2$  - волновые векторы падающего и рассеянного нейтронов;  $\bar{\tau}$  - вектор обратной решетки, умноженный на  $2\pi$ ;  $\epsilon(\bar{q})$  - дисперсионное соотношение / $\bar{\tau}, \bar{q}, \bar{k}_1$  и  $\bar{k}_2$  выражены в  $1/\text{Å}$ , а энергия - в мэВ/. В большинстве случаев в ограниченной области значений  $\bar{q}$  дисперсионное соотношение  $\epsilon(\bar{q})$  можно представить в виде

$$\epsilon(\bar{q}) = a_0 + a_1 q + a_2 q^2. \quad /3/$$

Для монокристалла Al результаты работы [9] по этой формуле аппроксимируются не хуже, чем с погрешностью 1 мэВ в области  $q(0 - 1,3 \text{ Å}^{-1})$ , если коэффициенты  $a_0, a_1, a_2$  взяты из таблицы. Если записать /1/ в полярных координатах [8] и подставить /2/ в /1/, то получим уравнение относительно  $q$ :

$$q^2 [\sin(\phi + 2\beta) - a_2 \sin \phi / 2,073] + q [2\tau \cos(\theta_B + \beta) - a_1 \sin \phi / 2,073] - [\tau^2 \sin(2\theta_B - \phi) + a_0 \sin \phi / 2,073] = 0. \quad /4/$$

Таблица

Коэффициенты аппроксимации данных работы <sup>9/</sup> для формулы /3/ в трех главных направлениях симметрии. L - продольные, T - поперечные фононы.

Направление	$a_0$	$a_1$	$a_2$
T [111]	0	26.41	-10.10
T [100]	0	25.05	- 5.71
T <sub>2</sub> [110]	0	22.07	- 4.77
T <sub>1</sub> [110]	0	23.95	- 0.61
L [111]	0	52.75	-16.87
L [100]	0	46.82	-13.60
L [110]	0	49.69	-17.27

Обозначения углов  $\phi, \theta_B$  и  $\beta$  представлены на рис. 2. Из решения уравнения /4/ и соотношений /1/ и /2/ получаем зависимость полного времени пролета T от угла  $\phi$ . Эта зависимость для фононов в Al изображена на рис.3. Если измерения проводятся при использовании одновременно нескольких детекторов, расположенных под разными углами, то получаемый спектр назовем трехмерным. С ростом числа детекторов растут требования к объему памяти ЭВМ. Однако информация, интересующая экспериментатора, содержится лишь в части трехмерного пространства данных, и только эта часть данных должна накапливаться в измерительной системе, что может дать экономию объема памяти, времени накопления и обработки.

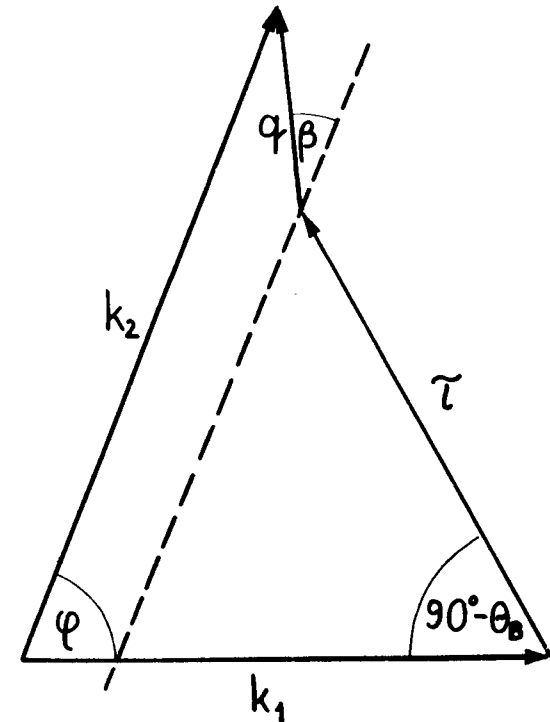


Рис.2. Геометрия процесса рассеяния.  $\phi$  - угол между  $\vec{k}_1$  и  $\vec{k}_2$ , определяемый положением детектора;  $\theta_B$  - брэгговский угол, характеризующий положение образца;  $\beta$  - угол между  $\vec{k}_2$  и  $\vec{q}$ , характеризующий направление волнового вектора фонона.

Положение прерывателя является одним из измерений трехмерного пространства данных. В этом измерении экономии памяти нельзя осуществить, т.к. каждое из положений прерывателя равновероятно и вносит равный вклад в информацию. Поэтому рассмотрим фононные возбуждения лишь в плоскости (T,  $\phi$ ), изображенной на рис.3. Предположим, что детекторы расположены через 5°. Расчетные кривые близки к прямым линиям с углами наклона 0,5-1,5 градус/канал. Так как наклон кривых невелик, то возбуждения в каждом заданном направлении могут регистрироваться на значительном отрезке времени T.

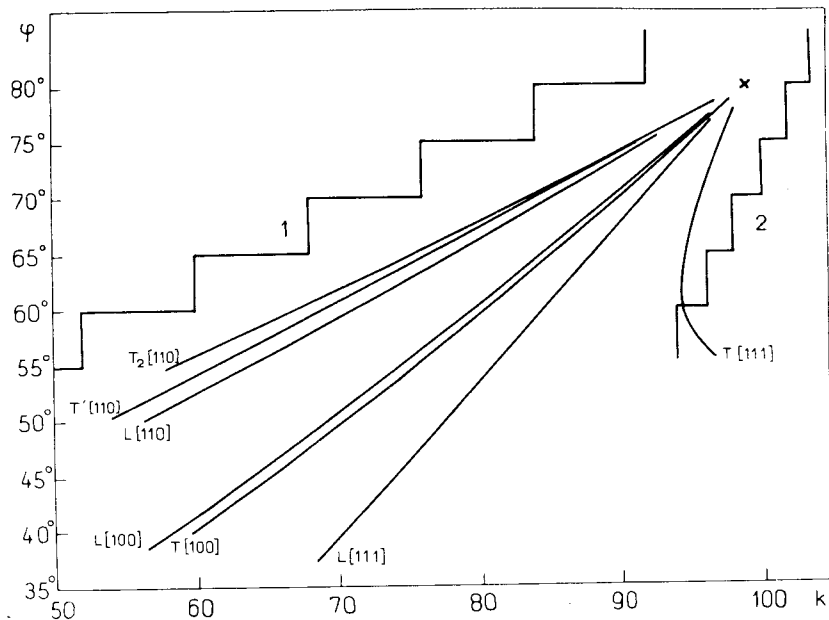


Рис.3. Зависимость  $T(\phi)$  для поперечных (Т) и продольных (L) фононов в Al вблизи узла (222) в направлениях [111], [110], [100]. 1 и 2 - функции "включения" и "выключения",  $\phi$  - в градусах, Т - в каналах шириной 64 мкс.

а так как он все же не мал, то не только один детектор "видит" эти возбуждения. Все кривые сходятся в одну точку, соответствующую брэгговскому отражению; ее координаты

$$T = (L_1 + L_2) \frac{m}{h} \frac{\tau}{2 \sin \theta_B}; \quad \phi = 2\theta_B,$$

где  $m$  - масса нейтрона. Положение этой точки не зависит от вида дисперсионных соотношений и направлений возбуждений в плоскости обратной решетки. Отсюда легко получить вид сканирующей функции для регистрации событий. Одна из возможностей изображена на рис. 3 и обозначена цифрами 1 и 2 / 1 - функция включения, 2 - выключе-

ния/. Область между этими функциями не должна превышать объема памяти  $M$ , деленного на число элементов псевдослучайного ряда, нанесенного на прерыватель, -  $N$ :

$$\sum_{d=1}^D (k_d^{OFF} - k_d^{ON}) \leq M/N,$$

где  $D$  - число детекторов,  $k_d^{OFF}$  - номер канала выключения  $d$ -го детектора,  $k_d^{ON}$  - номер канала включения  $d$ -го детектора.

Каждый элемент трехмерного объема этого пространства соответствует одной ячейке памяти.

### СИСТЕМА НАКОПЛЕНИЯ ДАННЫХ

Для изложенного выше трехмерного анализа корреляционных измерений мы предлагаем следующую систему накопления данных, принципиальная схема которой изображена на рис. 4. Накопление данных осуществляется с помощью селекции типа "цифровых окон" [10]. Оно происходит

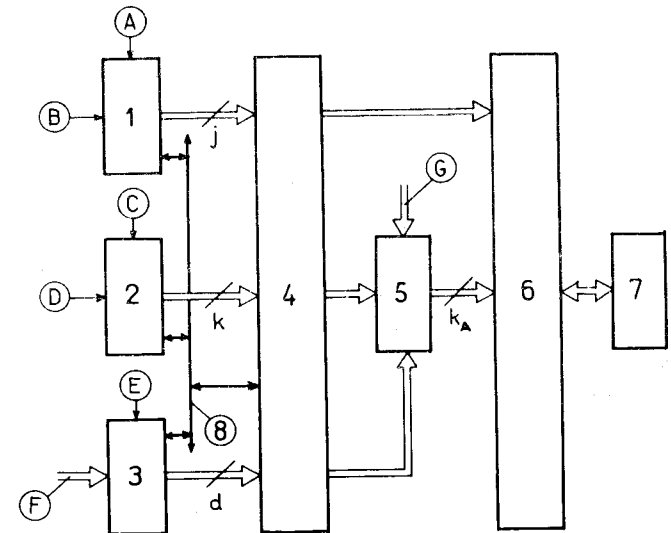


Рис.4. Принципиальная схема системы накопления данных.

в два этапа. Первый этап - двумерное измерение, параметрами которого являются номер детектора и полное время пролета, т.е. измеряются спектры по времени пролета одновременно всеми детекторами. Накопление этих данных осуществляется в блоке измерительной памяти 7. В интерактивном режиме с помощью маркеров на дисплее выбирается в каждом временном спектре информационная часть измерения. На основе маркеров ЭВМ, обслуживающая эксперимент, определяет значения  $k_d^{ON}$ ,  $k_d^{OFF}$  и  $k_d^B$  / $k_d^B$  определяет начальный адрес временных спектров в измерительной памяти/ для каждого детектора и записывает их в память блока селекции данных 5. Второй этап - данные в измерительной памяти стираются, и начинается трехмерное накопление, параметрами которого являются параметры первого этапа плюс положение прерывателя. В процессе измерения можно осуществлять проверку правильности выбора информативной части спектра для каждого детектора с помощью корреляционного анализа и, если необходимо, изменять ее параметры, меняя данные  $k_d^{ON}$ ,  $k_d^{OFF}$  и  $k_d^B$  через вход G. Каждое событие характеризуется тремя независимыми параметрами, выраженными номерами каналов: полным временем пролета - k, положением прерывателя - j, номером детектора - d. Эти три числа определяют совместный адрес, в младших разрядах которого размещается величина j, в средних - k и в старших - d. Адреса событий вырабатываются тремя независимыми входными блоками: 1, 2, 3. Эти блоки построены так, что каждый из них может быть запрограммирован для определения момента выработки адреса события /назовем такой блок контрольным/. Организация совместной работы этих блоков обеспечивается контрольной шиной 8. Более того, в зависимости от задачи адресный диапазон может быть любым образом распределен между этими блоками. Такая организация дает возможность без изменения аппаратуры вести любой n-мерный анализ, где  $n=1, 2, 3 \dots$

В нашем случае роль контрольного блока играет параллельный регистр 3, который под влиянием сигнала "сумма детекторов" E инициирует передачу данных. При этом текущие субадреса входных регистров переписываются в буферную память 4.

Субадреса вырабатываются следующим образом:

1. Сигнал "положение прерывателя" A подается на вход последовательного регистра I, а сигнал "старт прерывателя" B - на вход установки в "0", и под влиянием этих двух сигналов на выходе регистра появляется число, соответствующее числу элементов псевдослучайного ряда прерывателя.

2. Сигналы канальной серии C временного кодировщика /11/ подаются на вход последовательного регистра 2, а сигнал "старт реактора" D - на вход установки в "0". Под влиянием этих двух сигналов на выходе регистра всегда появляется число, соответствующее полному времени пролета, выраженному в каналах.

3. На вход параллельного регистра 3 поступают сигналы с кодировщика номера детектора F. Запись их происходит по сигналу "сумма детекторов" E, и на выходе регистра всегда имеем номер детектора.

На выходе буферной памяти появляется адрес (j, k, d), характеризующий событие. При этом субадрес j непосредственно подается на вход анализаторного блока б и определяет младшие разряды измерительной памяти. Старшие разряды определяются блоком селекции данных 5, осуществляющим сканирующую функцию. На вход этого блока подаются субадреса k и d, и он производит отбор событий, заключенных лишь в информативной части временных спектров. Эти субадреса преобразуются в субадрес  $k_a$ , и блок 5 инициирует запись адреса (j,  $k_a$ ) в анализаторный модуль, который по этому адресу добавляет +1 в измерительную память.

Принципиальная схема блока селекции данных представлена на рис. 5. Номера временных каналов включения  $k_d^{ON}$  и выключения  $k_d^{OFF}$  для каждого из d детекторов хранятся в двух оперативных запоминающих устройствах /ОЗУ/ -  $M_1$  и  $M_2$ . Отбор событий происходит следующим образом. Под влиянием адреса d на выходе  $M_1$  появляется  $k_d^{ON}$ , и с помощью арифметико-логического устройства I /АЛУ/ мы производим сравнение k и  $k_d^{ON}$ . Условие  $k \geq k_d^{ON}$  является первым условием полезности информации. На выходе  $M_2$  появляется  $k_d^{OFF}$ , и с помощью цифрового компаратора 2 мы производим сравнение k и  $k_d^{OFF}$ . Условие  $k < k_d^{OFF}$  является вторым условием

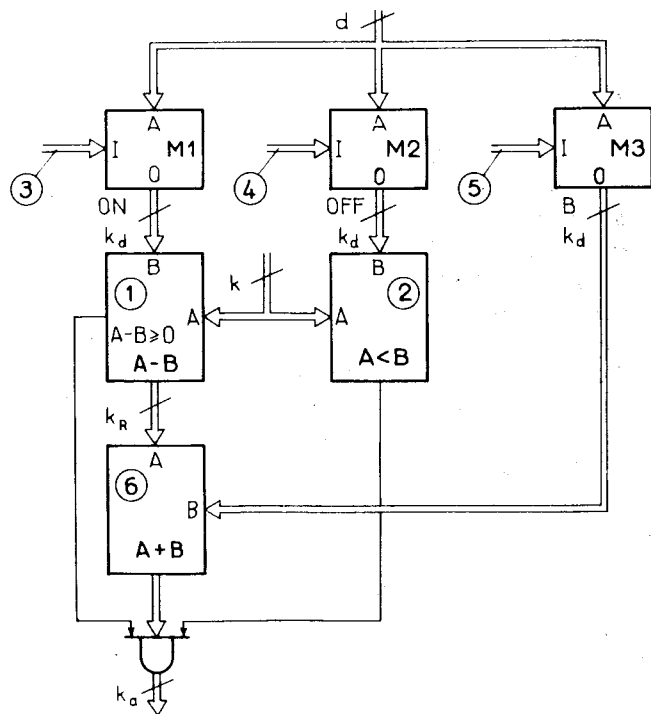


Рис. 5. Блок-схема блока селекции данных.

полезности информации. При выполнении обоих условий происходит перепись адреса  $(j, k_a)$  в анализаторный модуль. Субадрес  $k_a$  определяется выражением

$$k_a = k_d^B + k_R$$

и вырабатывается в сумматорном блоке 6.  $k_R$  - это относительный адрес каждого временного спектра, и он вырабатывается АЛУ, которое кроме операции сравнения производит арифметическую операцию вычитания  $k - k_d^{ON} = k_R$ .  $k_d^B$  - это начальный адрес каждого временного спектра в измерительной памяти, и он хранится для каждого детектора в ОЗУ  $M_3$ . Под влиянием адреса  $d$  на выходе  $M_3$  появляется  $k_d^B$ , который дает возможность распределить временные спектры в измерительной памяти любым

образом. Для того, чтобы эти спектры располагались последовательно в соответствии с номером детектора,  $k_d^B$  определяется следующим образом:

$$k_d^B = \sum_{i=1}^{d-1} (k_i^{OFF} - k_i^{ON}).$$

С помощью такой системы достигается уменьшение необходимого объема памяти в  $S$  раз:

$$S = \frac{DK}{\sum_{d=1}^D (k_d^{OFF} - k_d^{ON})},$$

где  $K$  - полное число каналов времени пролета. В рассмотренном на рис. 3 случае, когда  $D=6$ , а  $K=60$ , получаем  $S=2$ .

## ВЫВОДЫ

В настоящей работе обсуждены вопросы рационального построения системы накопления данных от нескольких детекторов в рамках ограниченного объема памяти. Показано, что при измерениях процессов неупругого рассеяния нейтронов область интересующих экспериментатора событий может быть выбрана специальным образом для каждого из детекторов. Предложена гибкая  $n$ -параметровая система накопления данных, селекция которых осуществляется в реальном масштабе времени.

В заключение хотим выразить благодарность М.З.Ишмухаметову за полезные замечания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кроо Н., Чер Л. ЭЧАЯ, 1977, том 8, вып. 6, с. 1412.



2. Beckurts K.H., Ehret G., Gläser W. Internal Report, KFK, 1969; Reichardt W. et al. Report KFK-1123, 1970.
3. Kroo N., Pellionisz P. KFKI Report, 71-45, 1971.
4. Kroo N., Pellionisz P. et al. In. Proc. Symp. Neutron Inelastic Scattering, Grenoble, IAEA-SM-155/F-6, 1972.
5. Гладких И.А. и др. ОИЯИ, 14-9486, Дубна, 1976.
6. Визи И. и др. ОИЯИ, P13-8711, Дубна, 1975.
7. Гладких И.А. и др. ОИЯИ, 14-9486, Дубна, 1976.
8. Добжински Л., Кепа Х. ОИЯИ, P3-5944, Дубна, 1971.
9. Stedman R., Nilsson G. Phys.Rev., 1966, 145, p.492.
10. Нефедьев О.К. и др. ОИЯИ, 13-7288, Дубна, 1973.
11. Барабаш И.П. и др. ОИЯИ, 11-8522, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 декабря 1978 года.