

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗУУ 1а

В-428

2380/2-75

30/01-75

P13 - 8711

И.Визи, Д.Жигмонд, Г.П.Жуков, Н.Кроо,  
Д.Надь, П.Пелионис, Л.Чер

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ  
НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ

**1975**

И.Визи,\* Д.Жигмонд,\* Г.П.Жуков, Н.Кроо,\*  
Д.Надь,\* П.Пелионис,\* Л.Чер

**КОРРЕЛЯЦИОННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ  
НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ**

---

\* Центральный институт физических исследований  
Венгерской Академии наук.

## *Введение*

За последние годы техника корреляционного анализа в нейтронной спектроскопии стала усиленно развиваться. Большая светосила и возможность уменьшения аддитивного некоррелированного статистического фона являются преимуществами метода, позволяющими проводить измерения физических параметров таких сильно поглощающих материалов, как соединения и сплавы бора и кадмия. Корреляционная техника в сочетании с импульсными источниками нейтронов позволяет расширить возможности нейтронной спектроскопии. Оказывается, что помимо увеличения светосилы и уменьшения фона представляется возможность провести двухмерный корреляционный анализ<sup>/1/</sup>.

В настоящей работе дано описание аппаратуры двухмерного корреляционного анализа и представлены результаты проведенных физических измерений на реакторе ИБР-30 Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

### *1. Общие сведения*

Преимущества и недостатки метода корреляционной спектрометрии нейтронов на импульсных реакторах по сравнению с традиционными методами /с прямой или обратной геометрией/ подробно обсуждаются в работе<sup>/1/</sup>. В настоящем разделе приводится краткое описание применяемого метода. Предполагается, что читатель хорошо знаком с принципами корреляционной техники, используемой на стационарных реакторах, которые подробно обсуждены в работах<sup>/2-4/</sup>.

Суть метода заключается в следующем: непосредственно перед образцом расположен статистический прерыватель нейтронного потока. Прерыватель, представляющий собой диск со случайно расположенными прозрачными для нейтронов щелями, вращается асинхронно /не в фазе/ со стартовыми импульсами реактора и прерывает поток нейтронов в случайные моменты времени. /Необходимо отметить, что данное устройство является только приближением статистического прерывателя, ввиду конечного числа щелей, однако это обстоятельство не приводит к существенному искажению полученных спектров/.

Пропущенные через щель прерывателя нейтроны рассеиваются на образце и после регистрации накапливаются в многоканальном запоминающем устройстве. При этом зарегистрированные нейтроны сортируются по полному времени пролета /первый параметр  $\tau_1$ / и по положению прерывателя в момент прихода их в детектор /второй параметр  $k$ /.

Измеряемую информацию можно представить в виде "функции рассеяния"  $S'(\tau_1, \tau_2)$ , т.е. функции интенсивности рассеянных нейтронов от времени пролета  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , где  $\tau_2$  - время пролета нейтрона от образца до детектора, а  $\tau_1$  - полное время пролета.  $S'(\tau_1, \tau_2)$  можно выразить через начальное распределение нейтронов по энергии  $J_0(\tau_1)$  и функцию  $S^*(\tau_1, \tau_2)$ , пропорциональную дифференциальному поперечному сечению рассеяния:

$$S'(\tau_1, \tau_2) = J_0(\tau_1) \cdot S^*(\tau_1, \tau_2).$$

В реальных случаях следует учитывать, что нейтроны относятся к конечным ширинам временных каналов / $\delta_1$  и  $\delta_2$ / и что источник нейтронов периодически генерирует вспышки нейтронов с конечным интервалом энергий и формой импульса  $\phi(t)$ , которая за прерывателем имеет вид  $\psi(t)$ . Тогда

$$S_{ij} = \frac{1}{\delta_1 \delta_2} \int_{i\delta_1}^{(i+1)\delta_1} \int_{j\delta_2}^{(j+1)\delta_2} \phi(t-\tau_1) \psi(t-\tau_2) \cdot S'(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 \cdot d\tau_2,$$

где  $\tau_1 = i\delta_1$ ;  $\tau_2 = j\delta_2$ .

Функция статистической модуляции  $Y(t)$  создается с помощью псевдостатистической двоичной серии  $Y_k$ , временные промежутки между двумя последовательными значениями которой равны  $\theta_2$ , а  $Y_{k+K} = Y_k$ , где  $K$  - полное число отрезков  $\theta_2$ . Желательно, чтобы значение  $\theta_2$  было кратно  $\delta_2$ . Функцию модуляции можно привести к виду:

$$Y(t) = \sum_{k=1}^K Y_k \psi(t - t_k),$$

где  $t_k$  - средние точки интервала  $\theta_2$  и  $Y_k = \{0, 1\}$ . Согласно идеям корреляционного метода, накопленный в многоканальном запоминающем устройстве спектр  $Z_{ik}$  соответствует функции рассеяния, модулированной случайным рядом  $Y_k = \{0, 1\}$ , где 1 соответствует пропускающим нейтроны участкам прерывателя, а 0 - закрытым участкам:

$$Z_{ik} = \sum_{j=0}^{k-1} Y_{k-j} \cdot S_{ij} + b,$$

где  $K$  - полное число щелей прерывателя,  $S_{ij}$  - "функция рассеяния", записанная в сокращенном виде, а  $b$  - некоррелированный фон. Корреляция между  $Z_{ik}$  и  $Y_k$  вычисляется по следующей формуле:

$$K_{i\tau_1} = \sum_{j=0}^{K-1} S_{ij} C_{j-\tau_1}^{YY} + b \cdot \bar{y},$$

где  $C^{YY}$  - автокорреляционная функция величин  $Y_k$ , а  $\bar{y}$  - средняя по времени величина  $Y_k$ . Поскольку  $C^{YY}$  имеет вид  $\delta$ -функции с постоянной гладкой подложкой, рассчитанная функция  $K_{i\tau}$  будет непосредственно отображать функцию рассеяния  $S_{i\tau}$ , где  $i$  соответствует полному времени пролета  $\tau_1$ , а  $\tau$  - времени пролета на второй базе.

Схема корреляционного спектрометра и временная диаграмма приведены на рис. 1. Процесс измерения делится на два этапа: накопление данных и их обработка.

На этапе накопления данных производится регистрация двумерного спектра, одним из параметров которого является время пролета нейтрона  $\tau_1$ , измеряемое от стар-

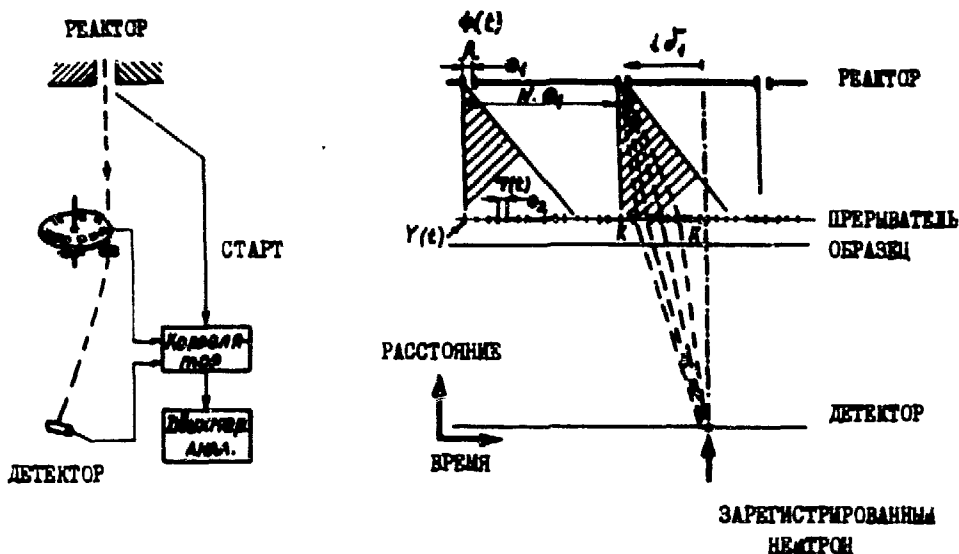


Рис. 1. Схема расположения установки на импульсном реакторе и временная диаграмма работы спектрометра.

твого импульса до момента регистрации, а вторым - положение статистического прерывателя  $k$ .

На этапе обработки данных накопленный спектр отображается на плоскость  $\tau_1, \tau_2$ , где  $\tau_2$  - время, отсчитываемое от синхримпульса прерывателя до момента регистрации нейтрона.

## 2. Описание электронных блоков

Установка создана в основном из стандартных блоков с небольшими изменениями, необходимыми для их согласования. Схема установки приведена на рис. 2, 3.

Измерение времени пролета нейтронов проводилось с помощью конвертера типа NB - 235<sup>/5/</sup> и универсального регистра типа NZ-271<sup>/6/</sup>, разработанных в ЦИФИ ВАН. Универсальный регистр выполняет функции адресного счетчика.

Основными узлами конвертера являются: времязадающий генератор, делитель частоты, счетчик задержки и блок управления.

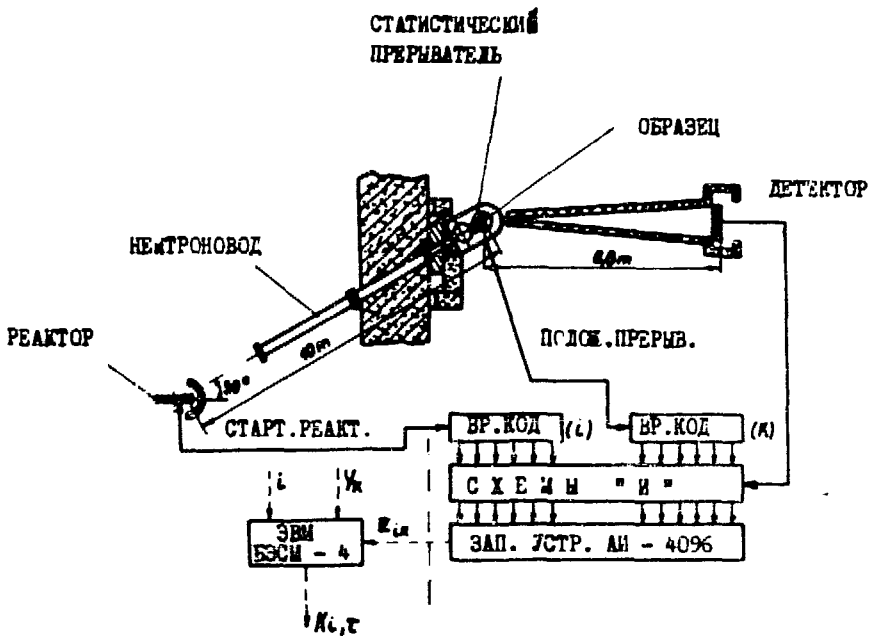


Рис. 2. Реальное расположение корреляционного спектрометра на ИБР-30 и схема электронной части установки.

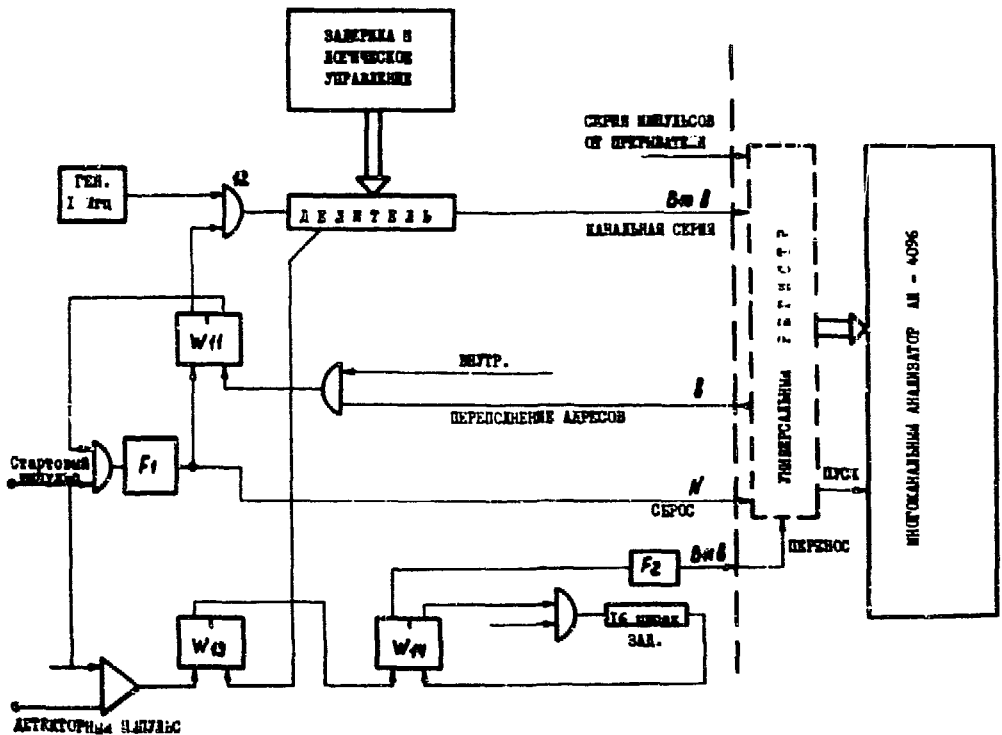


Рис. 3. Принципиальная схема электронной части установки.

Упрощенная схема конвертера показана на *рис. 3*.

С приходом стартового импульса триггер W11 устанавливается в состояние '1', импульсы генератора, частота которых равна 1 МГц, поступают на делитель частоты, с помощью которого вырабатывается канальная серия импульсов нужной частоты. В нашем случае использовались ширины временных каналов, равные 256, 512 и 1024 мкс.

Серия канальных импульсов задерживается с помощью счетчика задержки. Время задержки  $T_K$  зависит от выбранного значения ширины временного канала, емкости счетчика, и может меняться в соответствии с соотношением:

$$T_K = 2^N \cdot T (1/8 \cdot K_1 + K_2) .$$

где  $N$  - число разрядов счетчика задержки,  $T$  - ширина временного канала,  $K_1 = 1-8$ ,  $K_2 = 1-8$ . В нашем случае, в зависимости от параметров используемого образца, время задержки выбиралось равным 0, 512 и 1024 мкс.

Задержанная серия канальных импульсов подсчитывается с помощью старших 6 разрядов универсального регистра, в момент переполнения которого вырабатывается импульс установки в '0' триггера W11, прекращающего дальнейшее поступление канальной серии. С помощью младших 6 разрядов этого регистра подсчитываются импульсы от прерывателя для определения его положения.

Прерыватель представляет собой вращающийся диск с произвольно расположенными по окружности отверстиями разной ширины для пропускания нейтронов. На краю диска, кроме того, равномерно расположены 63 одинаковых отверстия, в момент прохождения которых возле оптического устройства вырабатываются импульсы  $1/f = 310$  мкс/ для определения положения прерывателя, и одно отверстие - для определения начала отсчета /сброс регистра/.

В момент поступления импульса от детектора с помощью триггеров W13, W14 и формирующей цепи  $F_2$  вырабатывается импульс переноса содержимого универсального регистра, используемого в качестве адреса МОЗУ АИ-4096. Одновременно с этим вырабатывается сигнал



“Пуск логики” и осуществляется добавлением “1” по этому адресу.

Блокировка на время регистрации информации в МОЗУ происходит с помощью линии задержки /16 мкс/ в цепи установки в “0” триггера W14.

Таким образом, в МОЗУ анализатора накапливается 63 временных спектра /положение прерывателя/, каждый из которых соответствует одному из 63 участков спектра по времени пролета.

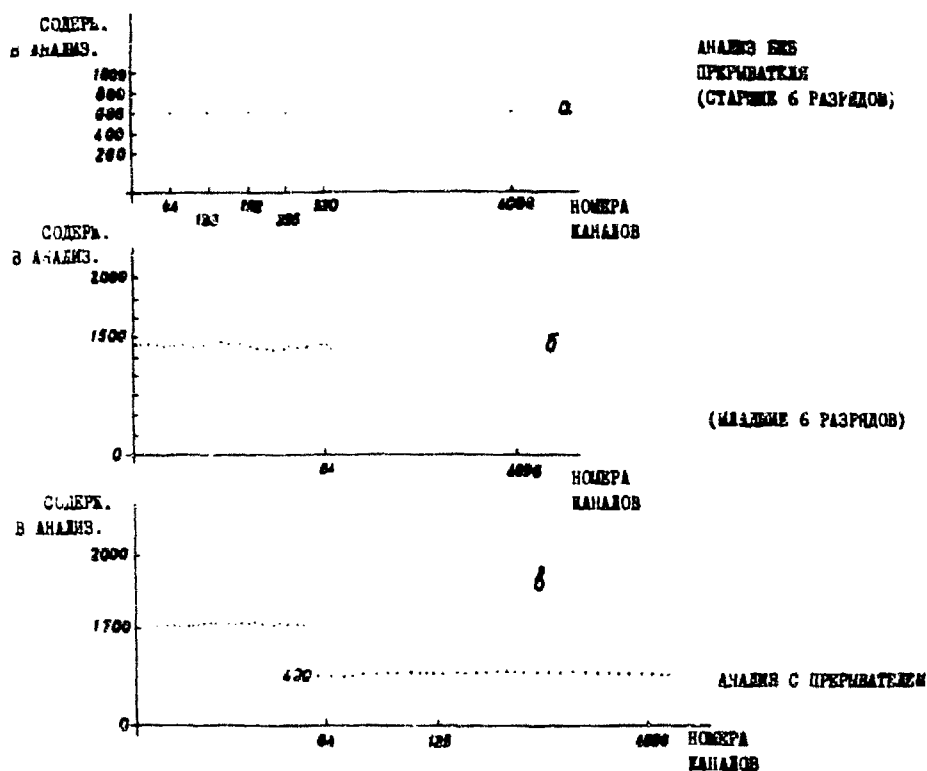
Накопленные данные можно наблюдать на осциллокопке, вывести на цифропечатающее устройство, графопостроитель и передать в ЭВМ БЭСМ-4 для вычисления корреляционной функции.

### 3. Результаты и выводы

С целью проверки правильности идей, заложенных в основу принципа работы вышеописанной системы, были проведены следующие контрольные измерения:

а/ На соответствующие входы устройства подавались стартовые импульсы реактора и детекторные сигналы. В этом случае в адресном регистре образуются только 6 старших разрядов адреса, соответствующих  $\tau_1$  /т.е. полному времени пролета нейтрона от реактора к детектору/. При этом заполнялся только каждый 64-й канал и образовывался спектр, изображенный на рис. 4а. Число отсчетов в каждом канале будет примерно одинаковым, если детекторные сигналы образуют белый спектр /по временному распределению/.

б/ В качестве проверки несинхронности вращения статистического прерывателя с частотой реактора серия импульсов прерывателя, характеризующая его положение, использовалась как адрес, по которому с приходом стартового импульса реактора добавлялась “1”. Если прерыватель вращается несинхронно с вспышками реактора, точнее - частота повторения вспышек реактора и частота вращения прерывателя являются взаимно простыми числами, то появление того или иного положения прерывателя в момент появления стартового импульса



**Рис. 4. Спектры, полученные при испытании электроники. а/ Поданы только сигнал старта реактора и белый временной спектр демежорных импульсов. б/ Спектр контроля несинхронности вращения реактора и статистического прерывателя. в/ Спектр, полученный при проверке работы адресного устройства. Демежорные импульсы от реактора заменены белым временным спектром.**

реактора будет равновероятным, и через достаточно длительное время в первых 64 каналах анализатора накопится спектр с примерно равными числами заполнения каналов. В настоящем эксперименте несинхронность вращения прерывателя от реактора достигалась без специальных приспособлений, так как частота вспышек реактора строго стабилизирована, а мотор прерывателя питался от обычной сети. Нестабильность частоты и напряжение сети считалось случайной функцией времени и предполагалось, что эта нестабильность достаточна для модуляции частоты прерывателя. В случае правильности предыдущего предположения в первых 64 каналах анализатора накап-

ливается белый спектр с нормальным распределением /рис. 4б/.

в/ Правильность совместной работы двух частей адресного устройства проверялась с помощью белого /по распределению во времени/ детекторного спектра при наличии всех импульсов, необходимых для образования адреса. При этом в анализаторе должен накапливаться изображенный на рис. 4в двухступенчатый белый спектр.

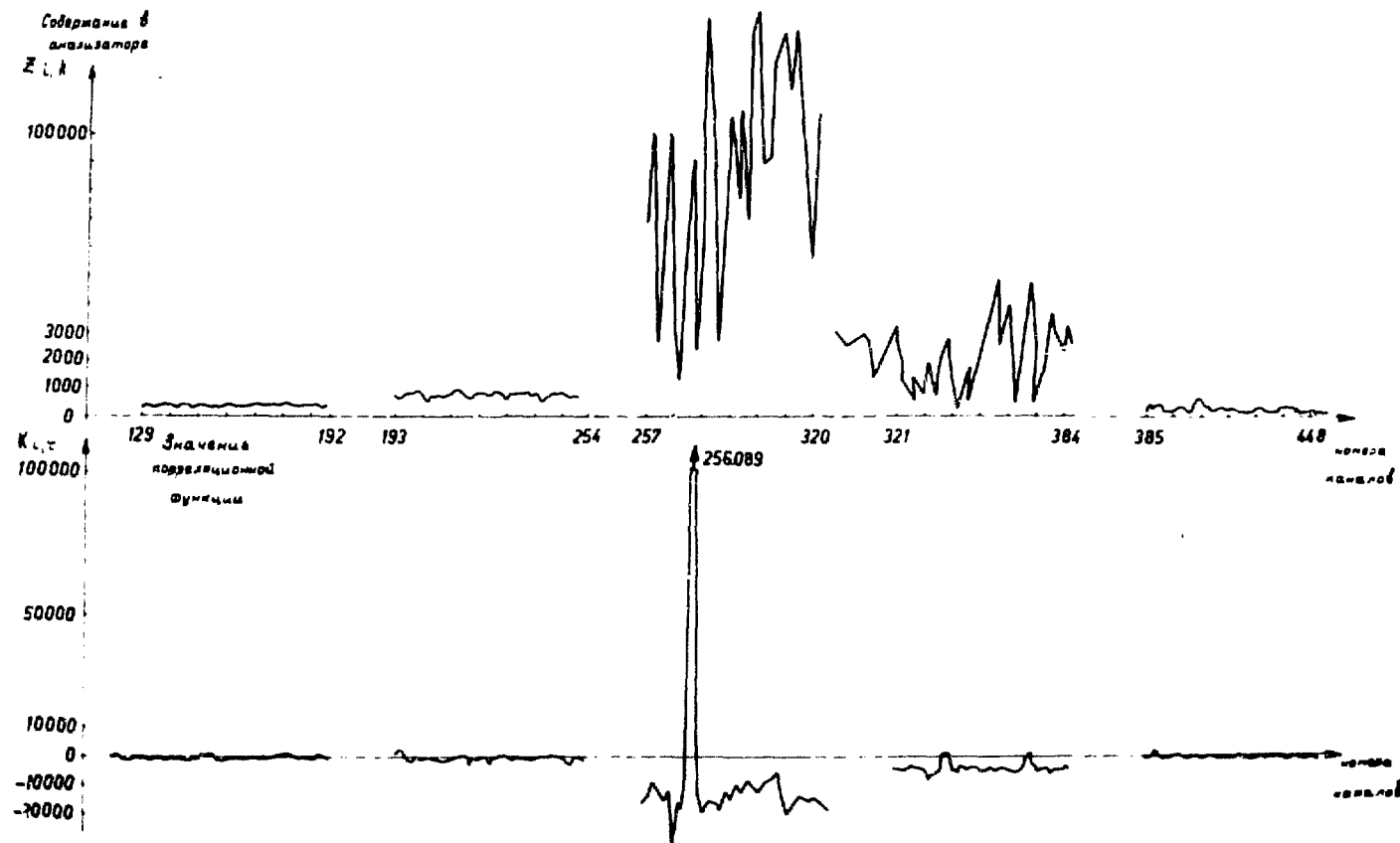
Во время всех измерений осуществлялся контроль за несинхронностью вращения прерывателя с реактором путем подачи стартовых импульсов на детекторный вход, позволяющий получить начальный участок спектра /рис. 4в/.

Для того чтобы убедиться в правильности работы системы, в качестве физической проверки в пучок нейтронов был помещен монокристалл магнетита. На рис. 5 изображены полученные спектры /верхний ряд/, а под ними - соответствующие корреляционные функции. Сильный пик соответствует одному из брэгговских отражений магнетита.

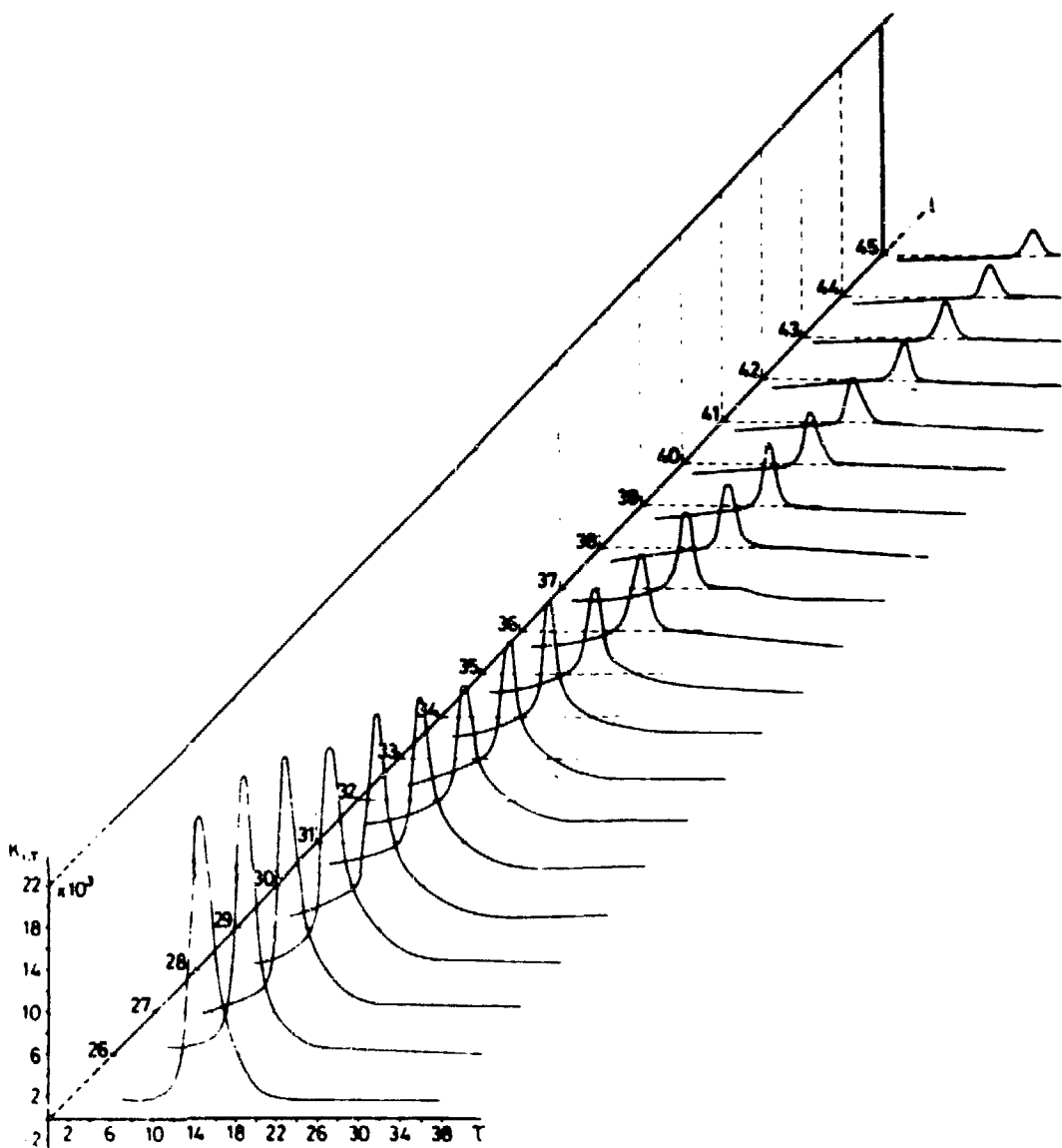
В качестве другого образца было выбрано оргстекло, некогерентное упругое сечение которого является достаточно большим. На рис. 6 приведена часть полученного двухмерного спектра. Согласно ожиданиям, огибающая вершин пиков хорошо следует за ходом спектра падающих нейтронов.

Итак, несмотря на плохую разрешающую способность устройства, связанную с низким числом оборотов прерывателя и ограниченным объемом памяти анализатора, показано, что статистический прерыватель в сочетании с импульсным реактором действительно позволяет получать двухмерный спектр рассеянных нейтронов

Вопросы пригодности метода корреляционной техники для исследования неупругого рассеяния нейтронов требуют дальнейшего изучения. Необходимо также подробно исследовать фактор выигрыша, т.е. сравнить статистическую точность обычного метода времени пролета со статистической точностью корреляционного метода.



**Рис. 5.** Характерные сегменты измеренного спектра /верхний ряд/ и соответствующие корреляционные функции /нижний ряд/ монокристалла магнетита.



**Рис. 6.** Часть двумерного упругого некогерентного спектра рассеяния нейтронов на оргстекле.

## Литература

1. N.Kroo, P.Pellionisz. *KFKI Report 71-45*.  
F.Hossfeld, R.Amadori. *Report of Kernforschungsanlage Jülich, JÜL-684-FF (1970)*.  
N.Kroó, P.Pellionisz, I.Vizi, G.Zsigmond, G.Zhukov, G.Nagy. *Neutron Inelastic Scattering 1972 Proc. Symp. Grenoble. IAEA, Vienna, 1972, p. 763*.
2. L.Pál, N.Kroó et al. *Proc. IAEA Symposium on Inelastic Scattering of Neutrons, Vol. II, Vienna, 1968, p.407*.
3. W.Glaser, Ehrer et al. *Report Kernforschungszentrum, Karlsruhe, 1970. KFK*.
4. von Jan, R., R.Scherue.. *Nucl.Instr.Meth., 80, 69 (1970)*.
5. *Idó-Digital Átalakító NB-233C KFKI No. 4595 Budapest (1969)*.
6. *Cimregiszter NZ-271 KFKI N 2801 Budapest (1966)*.

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 марта 1975 года.