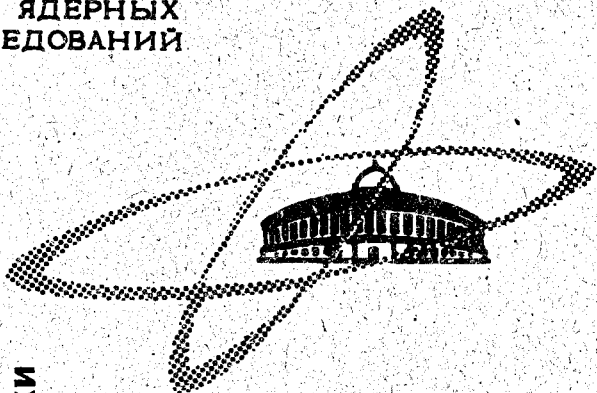


Д-465

3/III-69

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.



13 - 4273

В.С. Александров, Ф. Дуда, О.И. Елизаров,  
Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, З. Зайдлер,  
И. Звольски, Е.Т. Кондрат, З.В. Лысенко,  
В.И. Приходько, В.Г. Тишин, В.И. Фоминых,  
М.И. Фоминых; В.М. Цупко-Ситников

ДВУХМЕРНЫЙ АНАЛИЗАТОР  
ГАММА-ГАММА-СОВПАДЕНИЙ  
С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ  
НА БАЗЕ ЭВМ "МИНСК-2" С ВОЗМОЖНОСТЬЮ  
ОТБОРА ПОЛЕЗНОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДОМ  
ЦИФРОВЫХ ОКОН В ПРОЦЕССЕ  
ЭКСПЕРИМЕНТА

1969

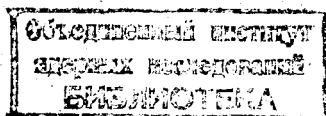
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ

13 - 4273

7705/2 чф.  
В.С.Александров, Ф.Дуда, О.И.Елизаров,  
Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, З.Зайдлер,  
И.Звольски, Е.Т.Кондрат, З.В.Лысенко,  
В.И.Приходько, В.Г.Тишин, В.И.Фоминых,  
М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников

ДВУХМЕРНЫЙ АНАЛИЗАТОР  
ГАММА-ГАММА-СОВПАДЕНИЙ  
С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ  
НА БАЗЕ ЭВМ "МИНСК-2" С ВОЗМОЖНОСТЬЮ  
ОТБОРА ПОЛЕЗНОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕТОДОМ  
ЦИФРОВЫХ ОКОН В ПРОЦЕССЕ  
ЭКСПЕРИМЕНТА

Направлено в Известия АН СССР



## 1. В в е д е н и е

Применение полупроводниковых  $\text{Ge(Li)}$  - детекторов, обладающих высоким энергетическим разрешением, позволило сделать очередной шаг вперед в изучении гамма-излучения атомных ядер. Однако одновременно с улучшением амплитудного разрешения резко возрастает и требование к емкости памяти многоканальных анализаторов. Если потребность увеличения количества каналов запоминающего устройства с улучшением разрешения при изучении одномерных спектров возрастает линейно, то при изучении двухмерных спектров совпадений эта потребность возрастает квадратично. С другой стороны, известно, что полезная информация о совпадениях при двухмерном анализе содержится только в небольшой части полного объема накопленной таким образом информации.

В настоящей работе описывается двухмерный анализатор гамма-гамма-совпадений с полупроводниковыми детекторами, в качестве накопителя в котором используется ЭВМ "Минск-2". Использование в ходе эксперимента вычислительной машины расширяет технические возможности установки, обеспечивает большую гибкость в выборе режимов работы. В частности, данная установка дает возможность, кроме проведения обычного двухмерного анализа, отбирать полезную часть информации о гамма-гамма-совпадениях в процессе эксперимента методом цифровых окон/18/.

Применение ЭВМ на стадии анализа результатов сокращает на порядок время предварительной обработки спектров в сравнении с обработкой вручную.

В работе дается описание установки и отдельных ее узлов, а также приводятся ее наиболее существенные характеристики, в том числе связанные с особенностями применения полупроводниковых детекторов во временном анализе.

## 2. Блок-схема установки и принцип работы

Блок-схема установки приведена на рис. 1. В качестве детекторов ядерного излучения используются два полупроводниковых Ge(Li) -детектора. В случае необходимости один из них заменяется сцинтилляционным счётчиком с кристаллом NaJ(Tl).

Импульсы от детекторов поступают на предусилители (ПУ)<sup>1/</sup>, после чего разделяются по двум каналам. Спектрометрические каналы (тракты А и Б) включают линейный усилитель (ЛУ)<sup>2/</sup>, эмиттерный повторитель (ЭП), дифференциальный амплитудный дискриминатор (ДАД)<sup>3/</sup> и амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП) на 256 (тракт А) и 4096 (тракт Б) каналов<sup>4,5/</sup>.

Временной тракт В состоит из двух быстрых усилителей (БУ), конвертора время-амплитуда (К), дифференциального амплитудного дискриминатора (ДАД)<sup>6/</sup>, схемы совпадений (СС)<sup>7/</sup> и формирователя (Ф). В одном из каналов временного тракта включена переменная линия задержки для выбора оптимального временного режима работы конвертора. Конвертор преобразует интервал времени между фронтами импульсов от детекторов тракта А и Б (смещенный на постоянную величину времени линией задержки) в амплитуду импульса, которая дальше анализируется дифференциальным дискриминатором. При соответствии амплитуды импульса конвертора установленному окну дискриминатор вырабатывает сигнал, поступающий на медленную схему совпадений. На другие два входа этой схемы подаются выходные импульсы ДАД спектрометрических трактов, позволяющих задавать амплитудные пороги или выбрать участки в спектрах А и Б, подлежащие дальнейшему совместному анализу. После схемы совпадений через формирователь и согласующий эмиттерный повторитель импульс совпадения поступает на входы амплитудно-цифровых преобразователей и блока логического управления (БЛУ).

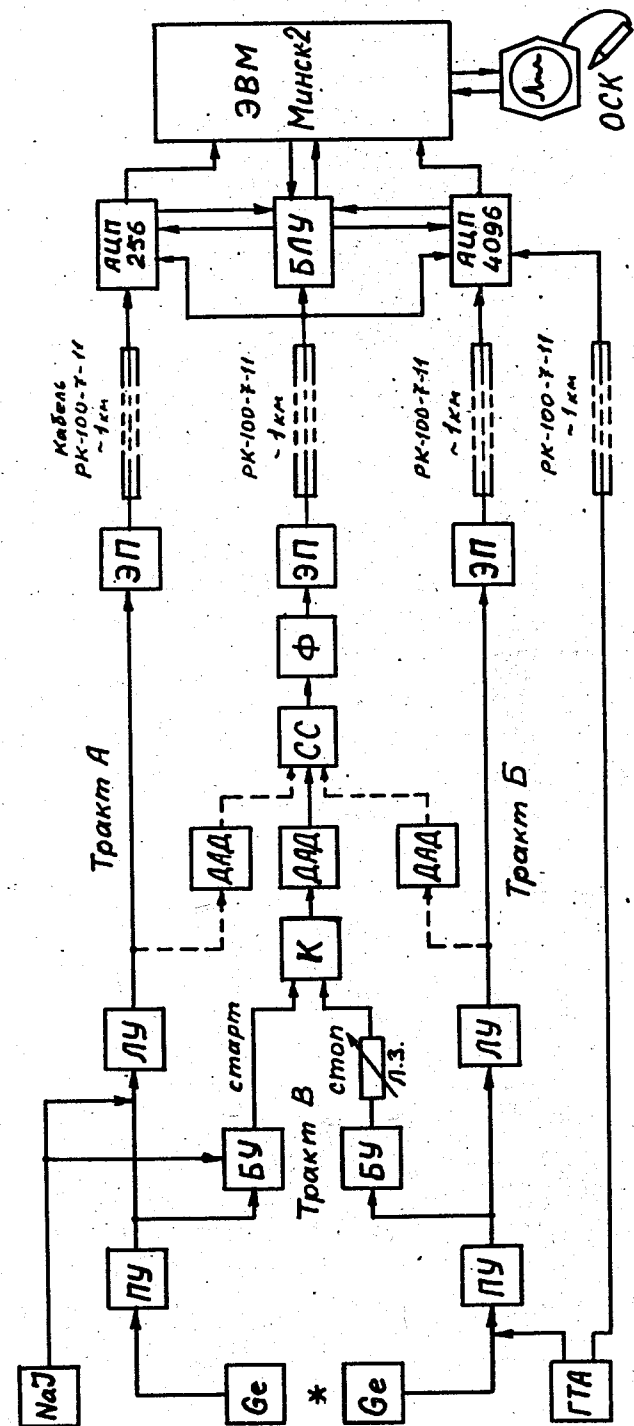


Рис. 1. Блок-схема двухмерного анализатора  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений

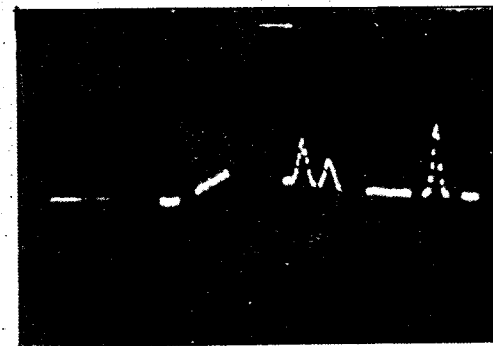
Регистрация событий осуществляется двухмерным анализатором с цифровыми окнами, выполненным на основе ЭВМ "Минск-2". В общий комплекс устройств входит осциллограф со световым карандашом (ОСК) /8/, обеспечивающий задание режима работы (выбор цифровых окон) и наблюдение регистрируемых спектров в процессе накопления информации.

В целях увеличения емкости накопителя оперативная память машины, состоящая из двух МОЗУ по 4096 37-разрядных двоичных слова, разбита на два этажа. В первый этаж входят разряды с 0 по 18 каждого слова и во второй - с 19 по 36. Таким образом, общая емкость памяти составляет 16384 18-разрядных слова.

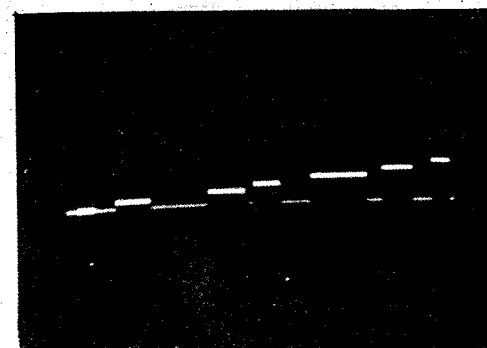
Работа с анализатором осуществляется следующим образом. В начале измерений за одним из трактов, например А, закрепляются функции формирования цифровых окон. В течение небольшой экспозиции перед началом эксперимента в машину записывается его одномерный спектр. Этот спектр выводится на ОСК и экспериментатор в соответствии с задачей опыта отмечает световым карандашом те участки спектра А (окна или отдельные каналы), с которыми необходимо получить спектры совпадений тракта В (рис. 2а). Общее число отмеченных участков на спектре А связано с числом каналов, выбранных для регистрации в тракте В условием, что их произведение не должно превышать общей емкости памяти 16384 слова (канала). Фактически это произведение должно быть меньше, так как некоторая часть ячеек занята спектром А и служебной программой. Число каналов в тракте В может быть выбрано равным  $128 \cdot 2^p$  ( $0 < p < 5$ ).

В процессе разметки окон происходит следующее. Специальная программа формирует так называемую "шкалу" (рис. 2б), то есть снабжает дополнительными признаками ячейки памяти, соответствующие каналам спектра внутри данного окна. Эти признаки указывают, а) что импульсы в тракте В, совпадающие с импульсами данного окна, подлежат регистрации и б) в какую часть памяти машины должен быть занесен спектр тракта В, совпадающий с данным окном.

Во второй этаж участка памяти, отведенного для хранения "шкалы", записывается интегральный спектр А, в первый этаж записываются номера групп МОЗУ, в которых должны регистрироваться спектры совпадений тракта В.



а)



б)



в)

Рис. 2. Формирование шкалы по спектру А. а) Спектр А с выбранными окнами. б) Шкала, соответствующая выбранным на спектре А окнам. в) Один из возможных вариантов шкалы.

Во время набора информации запись в память спектров Б производится только для участков спектра А, имеющих признак. При этом к коду импульса спектра Б, поступающему из АЦП, добавляется код номера части памяти, соответствующий признаку данного окна, и, таким образом, обеспечивается запись кода Б в нужную ячейку памяти.

Для удобства работы при разметке спектра А отмеченные участки окна подсвечиваются на экране более ярко (рис. 2а). На экране осциллографа можно также наблюдать и шкалу (рис. 2б). На рис. 2б показано изображение шкалы, соответствующее разметке окон рис. 2а. На рис. 2в приведен снимок шкалы для случая 8 окон, из которых 5 последних имеют по одному каналу.

Взаимосвязь ЭВМ, АЦП и временного тракта осуществляется блоком логического управления (БЛУ). При этом запись спектров Б в ячейке памяти осуществляется так, что коды чётных каналов спектра Б записываются в младшие разряды ячеек (с 0 до 18), а коды нечётных каналов — в старшие (с 19 по 36).

В процессе набора информации на экране ОСК можно наблюдать любой из набранных одномерных спектров совпадений Б, спектр А (с разметкой) и изображение шкалы. При этом наблюдение на осциллографе не мешает набору информации, так как вывод спектров на осциллограф производится в промежутки между поступлением входных импульсов. Время регистрации одного события (включая изображение на осциллографе) составляет 108 мксек.

Применение стабилизации тракта с АЦП на 4096 каналов (на блоке-схеме генератор точной амплитуды ГТА с выходом на ПУ и АЦП/9/) позволяет вести набор двумерных спектров совпадения в течение десятков часов.

По окончании эксперимента вся информация, накопленная в памяти машины, переписывается на магнитную ленту. Затем по специальной программе она сортируется, т.е. спектры Б из "двухмерного" вида приводятся к нормальному и могут печататься или обрабатываться на машине с использованием ОСК по программам обработки одномерных спектров/10 /.

### 3. Характеристики отдельных узлов системы

Используемые полупроводниковые коаксиальные  $\text{Ge}(\text{Li})$  -детекторы имеют объем  $10 \text{ см}^3$ . С точки зрения наилучшего амплитудного разрешения рабочее напряжение для детектора в тракте А составляет 800 в и в тракте Б - 600 в. Емкость детекторов 25-30 пф. Детекторы изготовлены в Институте ядерных исследований ЧСАН. В сцинтилляционном детекторе используется кристалл  $\text{NaJ}(\text{Tl})$  размером  $40 \times 40$  мм и фотомножитель RCA - 8810А. Амплитудное разрешение этого тракта составляет 10,5% на линии 661 кэв  $^{137}\text{Cs}$ .

Быстрый усилитель выполнен по схеме, приведенной на рис. 3. Входной сигнал снимается со спектрометрического выхода ПУ через конденсатор емкостью  $100 + 200$  пф. При этом амплитудное разрешение тракта Б ухудшается на  $5 + 10\%$ . Быстрый усилитель состоит из четырех идентичных каскадов усиления с ограничением по амплитуде после второго и третьего каскадов с помощью обращенных диодов. Первый каскад осуществляет формирование импульсов по длительности с помощью короткозамкнутого кабеля. Выходной импульс - отрицательный с амплитудой 344 в и длительностью  $150 + 200$  нсек. Длительность переднего фронта  $15 + 20$  нсек. Коэффициент усиления БУ для импульсов, соответствующих порогу срабатывания, около 1000.

По условиям эксперимента в данной установке порог срабатывания составляет  $\approx 30$  кэв. На рис. 4 приведен гамма-спектр  $^{153}\text{Gd}$ , снятый без управления анализатором, и тот же спектр, полученный с управлением от быстрого усилителя.

Конвертор время-амплитуда. В качестве основы для используемого в установке конвертора принята схема, разработанная Басиладзе<sup>/11/</sup>. Конвертор работает по старт-стопному принципу (рис.5). Для повышения частотного диапазона триггер, задающий интервал времени, выполнен на туннельном диоде ТД. Сброс триггера при отсутствии импульса "стоп" осуществляется стартовым импульсом, отраженным от конца короткозамкнутого кабеля. Максимальный диапазон исследуемых интервалов времени, а также "мертвое время" конвертора определяются этой линией задержки и составляют около 800 нсек. Собственное разрешающее время конвертора не более 0,5 нсек.

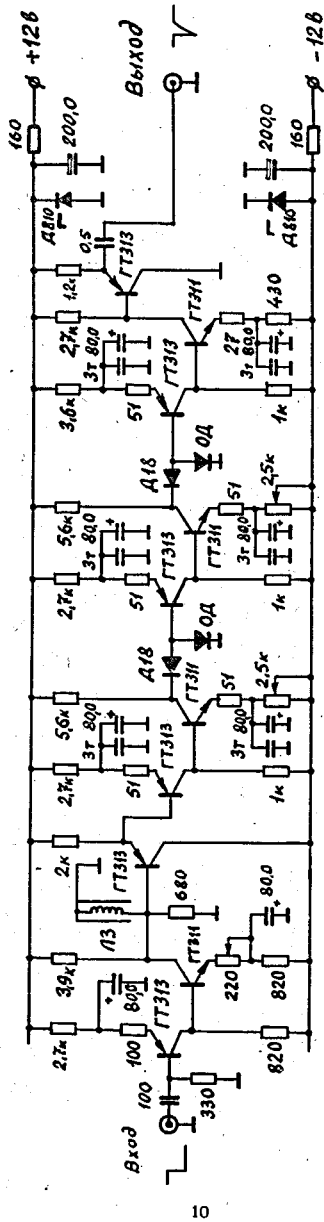


Рис. 3. Схема быстрого усилителя.

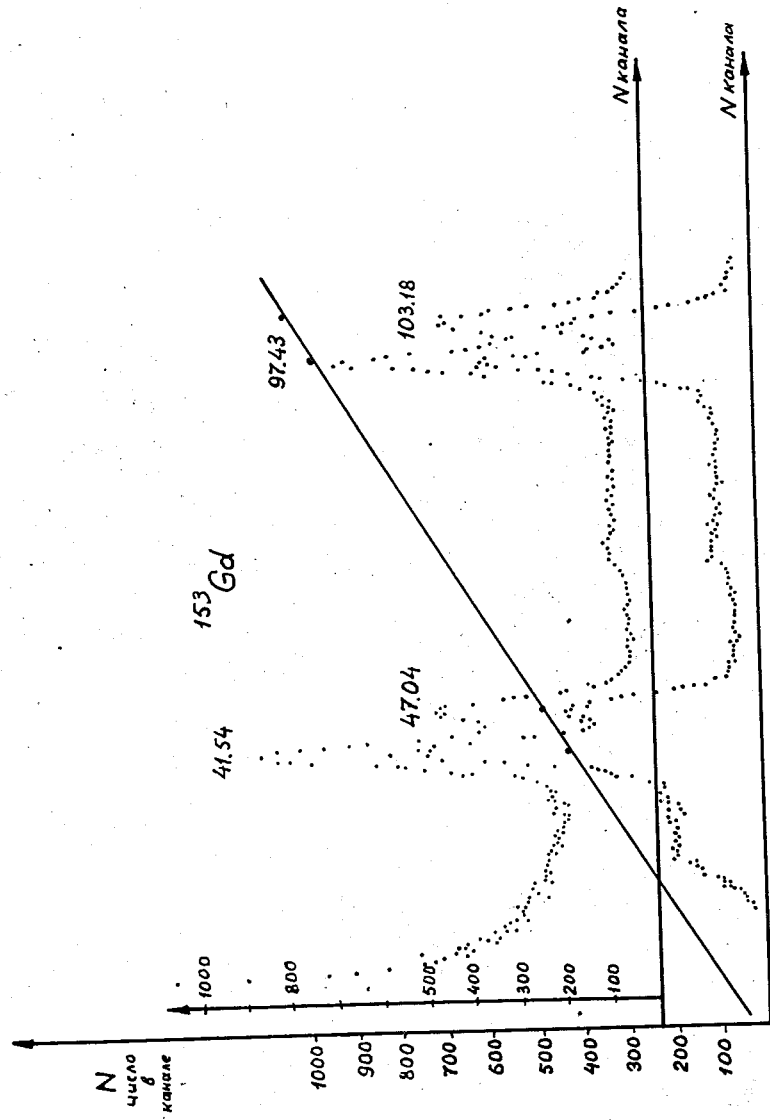


Рис. 4. Спектр  $153Gd$ , снятый с управлением от быстрого усилителя. Для сравнения (сверху) показан тот же спектр, полученный в режиме обычного амплитудного анализа.



4. Амплитудно-временные характеристики

Основное требование при разработке системы гамма-гамма-совпадений с использованием Ge(Li) - детекторов состоит в необходимости получения минимального разрешающего времени для большого диапазона энергий исследуемых гамма-квантов при сохранении высокого энергетического разрешения. Разрешающее время для данной системы совпадений определяется свойствами коаксиальных Ge(Li) -детекторов, предусилителей и быстрых усилителей. Анализ влияния каждого из этих устройств подробно рассматривается в работах/12-17/.

Амплитудно-временные характеристики спектрометра были измерены на изотопе <sup>22</sup>Na. В качестве опорных временных импульсов использовались импульсы со сцинтилляционного детектора, соответствующие квантам с энергией 511 кэВ, которые выбирались дифференциальным дискриминатором. Временные спектры были получены по схеме рис. 6. Из амплитудного спектра Ge(Li) - тракта выбирались импульсы в дифференциальных окнах с энергией 60+68; 75+82; 92+100; 113+128; 184+198; 294+310; 402+410; 508+514 кэВ и подавались после совпадения с импульсами, соответствующими энергии 511 кэВ в сцинтилляционном тракте, на вход управления анализатором. Во всех случаях анализировался спектр конвертора.

Таким образом, из спектра конвертора, полученного от совпадений импульсов сцинтилляционного и полупроводникового трактов, в каждом опыте вырезались временные спектры совпадений гамма-квантов с энергией 511 кэВ NaJ(Tl) с участками амплитудного спектра Ge(Li) -тракта (рис. 7). Для пика конвертора 511 кэВ NaJ(Tl) - 511 кэВ Ge(Li) получено разрешение на полувысоте - 14 нсек, на уровне 0,1+36 нсек (рис. 8). На рис. 9 приведена кривая смещения временных пиков для различных диапазонов энергий. Наблюдаемое значительное смещение пиков и увеличение разрешающего времени при уменьшении энергии гамма-квантов, выделяемых из спектра, связано с трудностями выделения быстрых временных сигналов от Ge(Li) -детекторов.

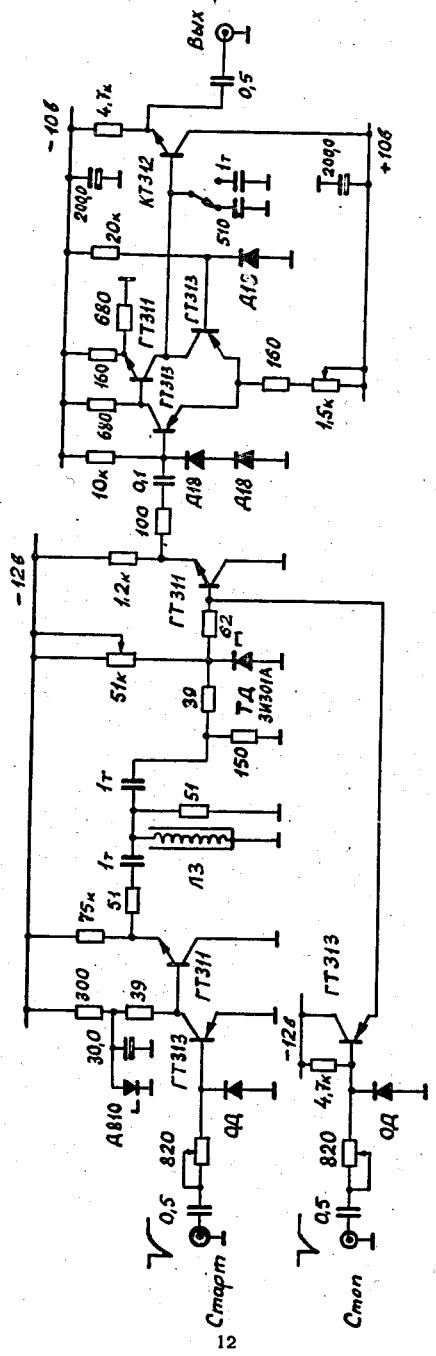


Рис. 5. Схема преобразователя время-амплитуда.

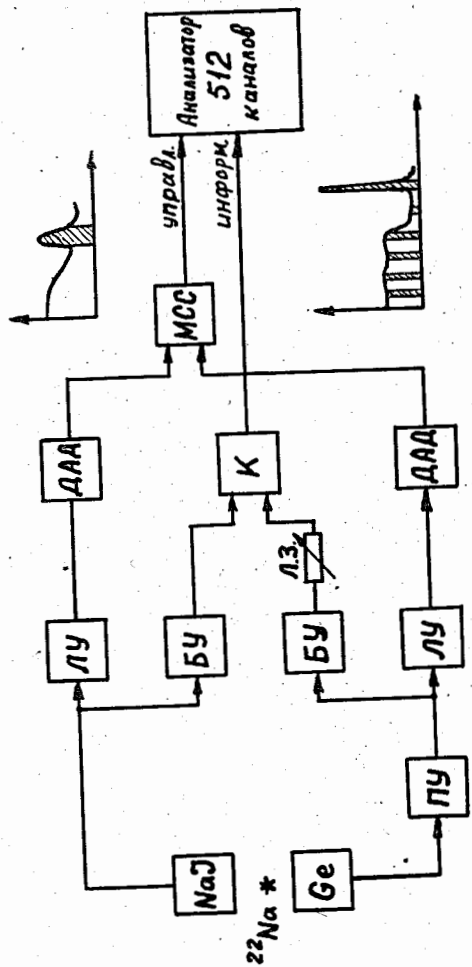


Рис. 6. Блок-схема установки для снятия характеристик системы.

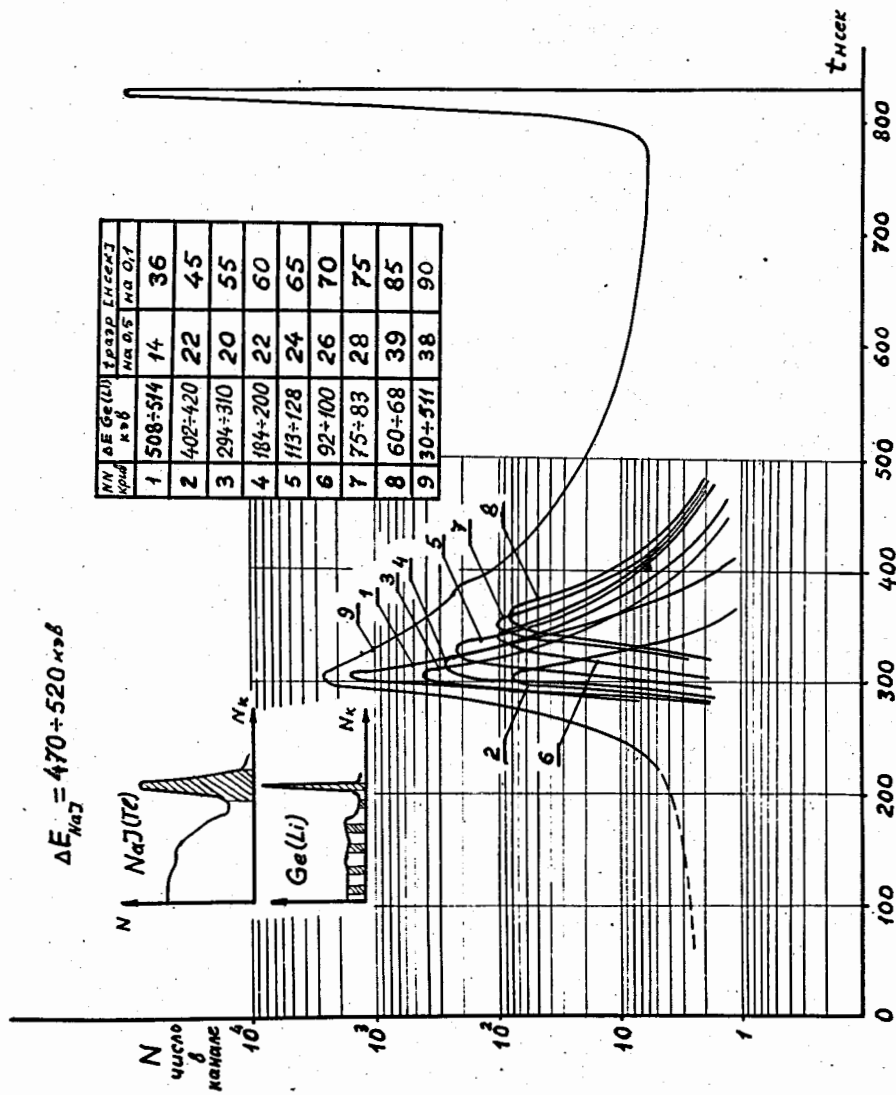


Рис. 7. Временные спектры конвертора для случаев совпадения гамма-квантов энергии 511 кэВ в тракте NaJ(Tl) с гамма-квантами различных энергий с Ge(Li) -детектором.

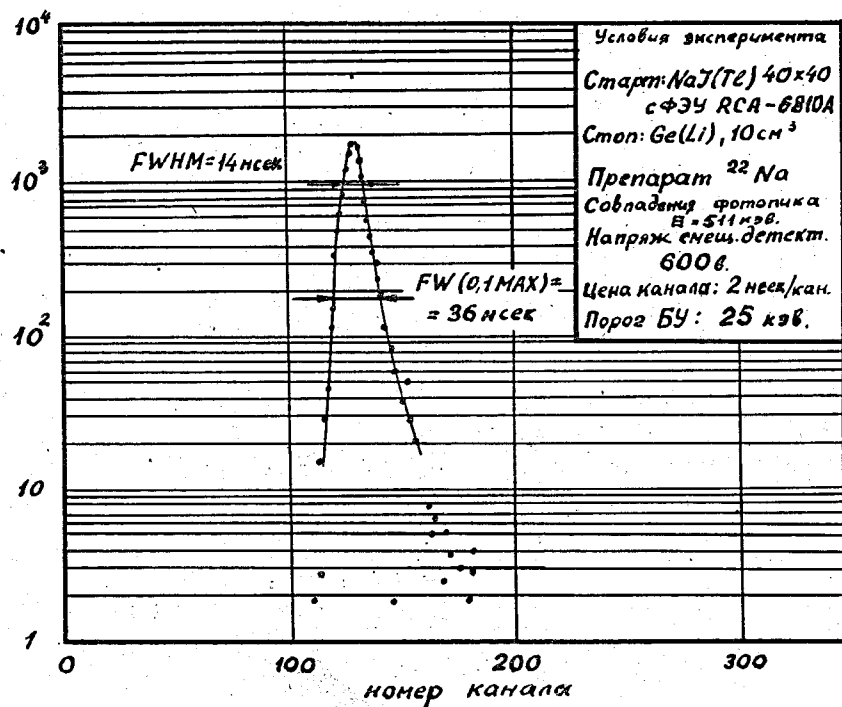


Рис. 8. Временной спектр совпадений гамма-квантов с энергией 511 кэВ, полученный в системе, состоящей из коаксиального Ge(Li)-детектора и сцинтилляционного кристалла NaJ(Tl).

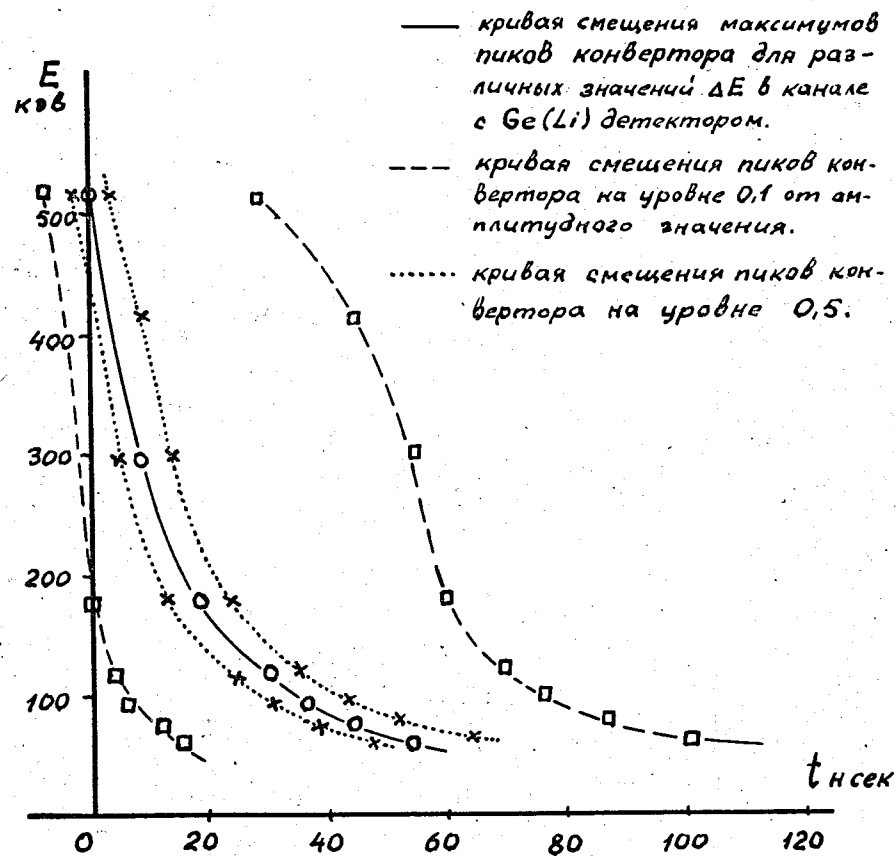


Рис. 9. Кривые изменения разрешающего времени системы совпадений, состоящей из Ge(Li)-детектора и сцинтилляционного кристалла NaJ(Tl), в зависимости от энергии исследуемых гамма-квантов в тракте с Ge(Li)-детектором.

Два Ge(Li) детектора.  
 Объем  $10 \text{ см}^3$   
 Препарат  $^{22}\text{Na}$ .  
 Порог срабатывания  $\sim 25 \text{ кэВ}$ .  
 1 канал  $\equiv 1,66 \text{ нсек}$ .

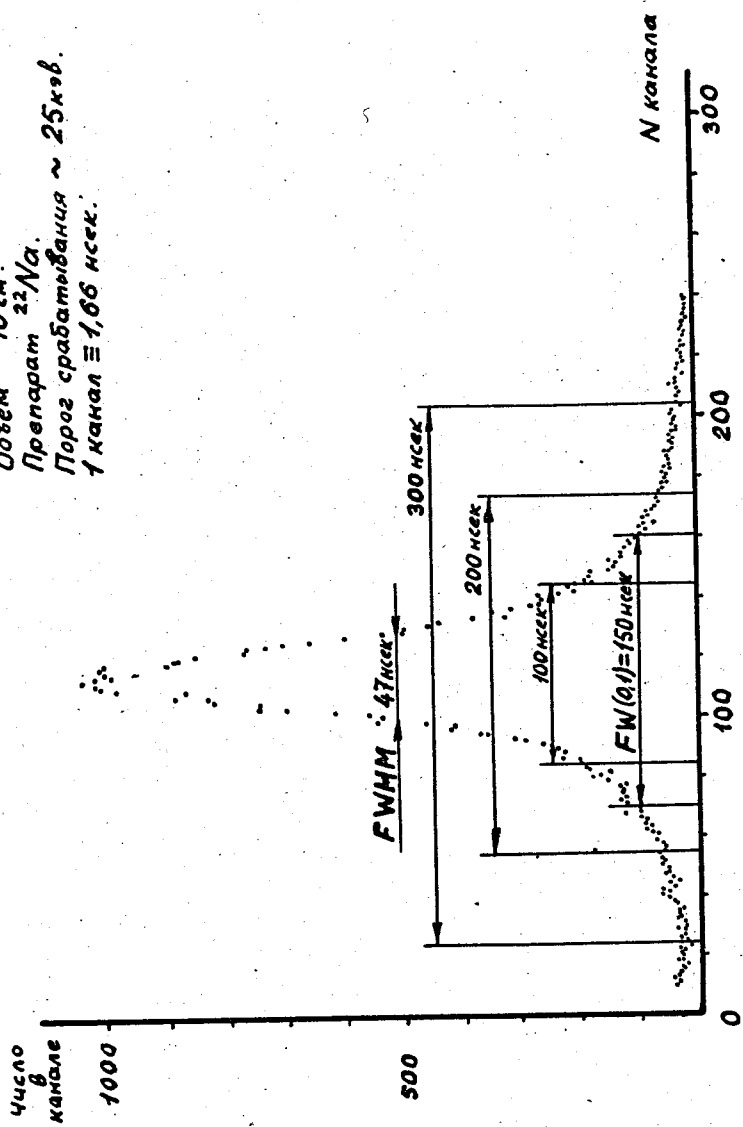


Рис. 10. Кривая разрешающего времени для системы совпадений, состоящей из двух коаксиальных Ge(Li) -детекторов. Диапазон энергий исследуемых гамма-квантов - 30-511 кэВ по обоим трактам.

# Ge-Ge

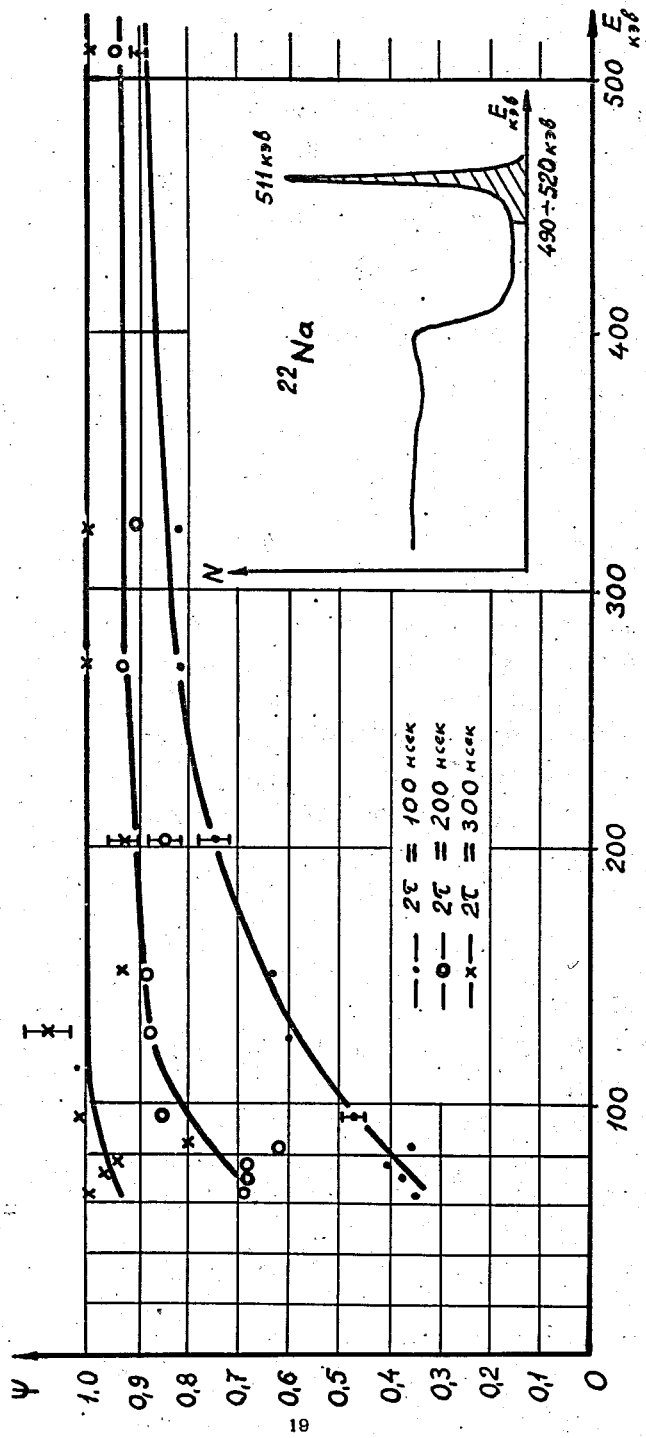


Рис. 11. Кривые энергетической зависимости эффективности совпадений для трех значений разрешающего времени  $2\tau = 100, 200$  и  $300 \text{ мсек}$ . Кривые сняты при фиксированном значении энергии в одном канале ( $511 \text{ кеВ}$ ) на препарате  $^{22}\text{Na}$ .

Ширина временного спектра совпадений гамма-квантов 511 кэВ  $NaJ(Tl)$  с гамма-квантами энергий 30+511 кэВ  $Ge(Li)$  -детектора на уровне 0,1 высоты составляет около 100 нсек. Так же был снят временной спектр совпадений для  $\gamma(30+511) - \gamma(30+511)$  с детекторами  $Ge(Li)$  в обоих трактах (рис. 10). Полученное разрешение составляет на уровне 0,1 высоты  $\approx 150$  нсек.

На рис. 11 приведена зависимость эффективности совпадений от энергии и разрешающего времени для системы с двумя  $Ge(Li)$  -детекторами. Кривые снимались при фиксированной энергии гамма-квантов по одному каналу (511 кэВ) и различных энергиях другого канала на препарате  $^{22}Na$ . Кривые соответствуют трем значениям разрешающего времени  $2\tau = 100, 200$  и  $300$  нсек (рис. 10).

#### Л и т е р а т у р а

1. Lakatos T. Atomki Közl. 9, 1-2 (1967).
2. В.Г.Субботин, Б.В.Фефилов; Препринт ОИЯИ 13-3111, Дубна 1967 г.
3. Ю.Г.Будяшов, В.Г.Зинов. Препринт ОИЯИ 13-3093, Дубна 1966 г.
4. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ 2492, Дубна 1965 г.
5. В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ 2163, Дубна 1965 г.
6. К.Г.Родионов, Препринт ОИЯИ 2280, Дубна 1965.
7. С.Г.Басиладзе. Препринт ОИЯИ 2339, Дубна 1965 г.
8. З.В.Лысенко, Й.Томик, В.Р.Трубников. Препринт ОИЯИ 10-3331, Дубна 1967 г.
9. Э.Г.Имаев, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Б.В.Фефилов. Препринт ОИЯИ Р13-3246, Дубна 1967 г.
10. Г.И.Забиякин, И.Звольски, В.И.Приходько и др. Изв. АН СССР, серия физ., 31, №10, 1601, 1967 г.
11. С.Г.Басиладзе. Препринт ОИЯИ 2683, Дубна 1966 г.
12. Ю.К.Акимов, А.И.Калинин, В.Ф.Кушнирук, Х.Юнгклауссен. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение. Атомиздат, 1967 г.
13. IEEE Trans. Nucl. v. 13, N 3 1966.

14. M.G.Straus et al. Nucl. Instr. Meth, 46, 45 (1968).
15. D.N.Poenoru. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS 2-14, 5 (1967).
16. J.C.Balland et al. Nucl. Instr. Meth. 52 (1967).
17. Т.Вальчак, Е.Киселевски, Я.Стычень, М.Шавловски, А.З.Хрынкевич.  
Препринт ОИЯИ 13-4025, Дубна 1968 г.
18. Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков и др. Препринт ОИЯИ, 10-4246,  
Дубна 1969 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 января 1969 года.