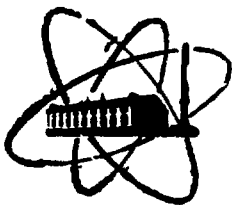


Э

5K8009600

ФЭИ-973



ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*М. В. БОХОВКО, Л. Е. КАЗАКОВ, В. Н. КОНОНОВ,
А. Н. МИРОНОВ, В. С. НЕСТЕРЕНКО, Е. Д. ПОЛЕТАЕВ,
В. М. ТИМОХОВ*

**Спектрометрическая аппаратура
для абсолютного измерения сечения
радиационного захвата
быстрых нейтронов в уране-238**

Обнинск — 1979

ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

М. В. Божовко, Л. Б. Казаков, В. Н. Кононов,
А. Н. Миронов, В. С. Нестеренко, Е. Д. Полетаев,
В. М. Тимохов

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА
ДЛЯ АБСОЛЮТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА
БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ В УРАНЕ-238

Аннотация

Приводится описание аппаратуры, используемой в эксперименте по абсолютному измерению сечения радиационного захвата нейтронов в уране-238 в области энергий 10 - 500 кэВ, выполненного на спектрометре по времени пролёта на базе импульсного ускорителя ВГ-1 ФЭИ. Комплекс аппаратуры содержит систему детекторов и входных регистрирующих устройств, многоканальную спектрометрическую систему для измерения времени пролёта в наносекундном и микросекундном диапазонах и логические устройства, обеспечивающие измерение амплитудных спектров импульсов детектора событий радиационного захвата.

Введение

Сечение радиационного захвата нейтронов в уране-238 в области энергий 10-500 кэВ является одной из наиболее важных ядерных констант для расчёта и оптимизации реакторов на быстрых нейтронах. В основе используемого в данном эксперименте абсолютного метода измерения лежит применение большого жидкостного сцинтилляционного детектора (бака) для регистрации событий захвата по мгновенным γ -лучам и наносекундной техники времени пролёта на импульсном электростатическом ускорителе Ван-де-Граафа для определения энергии нейтронов и дискриминации фона. В отличие от традиционных измерений сечений захвата на аналогичных спектрометрах быстрых нейтронов, проводившихся относительноными методами, в этом эксперименте благодаря осуществлению на ускорителе Ван-де-Граафа дополнительно режима спектрометра резонансных нейтронов, используется методика "насыщенного" (или "чёрного") резонанса, которая позволяет исключить необходимость прямого измерения эффективности детектора событий захвата и абсолютное измерение потока нейтронов.

В предположении, что образец урана-238 достаточно тонкий для быстрых нейтронов, а пропускание монитора нейтронного потока (в качестве которого используется детектор с "тонким" ${}^6\text{Li}$ -стеклом, расположенный перед захватным образцом) близко к 1, величина сечения радиационного захвата может быть определена следующим образом:

$$\sigma_{ny} = \frac{(N_y/N_m)^\delta}{(N_1/N_m)^p} \cdot \frac{P_y}{n_y} \cdot \frac{\epsilon_y^p}{\epsilon_y^\delta} \cdot \frac{\sigma_{n\alpha}^\delta}{\sigma_{n\alpha}^p},$$

где индексом " δ " и " p " относятся к величинам в области быстрых и резонансных нейтронов соответственно; N_y и N_m - число отсчётов детектора событий захвата и монитора соответственно; n_y - число ядер в захватном образце; P_y - вероятность радиационного захвата нейтронов в резонансе (при $n_y \sigma_0 \gg 1$ для насыщенного резонанса величина P_y близка к 1 и определяется с высокой точностью расчётным путём); ϵ_y - эффективность регистрации событий захвата сцинтилляционным баком (величина отношения $\epsilon_y^p/\epsilon_y^\delta$ из-за возможного различия спектров γ -лучей при захвате в области насыщенного S-резонанса и области быстрых нейтронов может несколько отличаться от 1, и поправка на этот эффект определяется экспериментально путём сравнения формы соответствующих амплитудных спектров импульсов детектора); $\sigma_{n\alpha}$ - сечение реакции ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$, используемой для

регистрации нейтронов в мониторе, относительный ход которой (величина $\sigma_{na}^s / \sigma_{na}^k$) известен с высокой точностью ($\sim 2\%$) до энергии ~ 100 кэВ. При более высоких энергиях используется второй монитор нейтронного потока - детектор, состоящий из ^{10}B - пластины и двух кристаллов $\text{NaJ}(\text{Te})$, регистрирующих γ -кванты с $E_\gamma = 478$ кэВ из реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha\gamma)^7\text{Be}$.

Эксперимент проводился на импульсном ускорителе ЭГ-1 ФВМ, система прерывания которого обеспечивала получение импульсов ионного тока как в наносекундном диапазоне (включая кластрированную группировку), так и микросекундном. Параметры пучка протонов на мишени ускорителя при работе в быстрой области в режиме группировки были следующие: длительность - $3 \pm$ нсек, амплитуда тока - $\sim 1,5$ мА, период следования - 2,8 мсек. При работе в резонансной области: длительность - 0,5 мсек, амплитуда тока - 0,35 мА, период следования - 140 мсек. Источником нейтронов служила реакция $^7\text{Li}(p, n)^6\text{He}$, и использовалась "толстая" металлическая литиевая мишень. При работе в режиме резонансного нейтронного спектрометра для формирования потока резонансных нейтронов вблизи мишени устанавливался замедлитель из полиэтилена.

Кроме детектора событий захвата и мониторов нейтронного потока в эксперименте для измерения параметров импульсного пучка ускорителя, настройки аппаратуры и контроля условий опытов использовалась также детектор с кристаллом отальбена, камера деления со слоем ^{252}Cf , "длинный" счётчик и интегратор тока.

Задачи электронной аппаратуры состояли в следующем:

1. Получение временной отметки, определяющей момент регистрации импульсов детекторами, а также рождения нейтронной вспышки в мишени ускорителя, с точностью 1 ± 2 нсек.

2. Выделение интервалов амплитуд импульсов детекторов (амплитудных окон) для обеспечения оптимального отношения эффекта к фону при временных измерениях.

3. Измерение времяпролётных спектров событий от 4-х детекторов с ценой канала 2 ± 4 нсек (Δt макс. = 2 мсек).

4. Измерение времяпролётных спектров событий от 2-х детекторов с ценой канала 0,1 мсек (Δt макс. = 100 мсек).

5. Измерение амплитудных спектров импульсов оцифрованного сигнала, соответствующих регистрации событий в двух временных окнах ("фон" и "эффект + фон") как в режиме наносекундного, так и микросекундного спектрометров.

Для осуществления этих измерений в рамках Физического измерительного центра (ФИЦ) ФНИ был разработан целый ряд электронных устройств. Ниже приводится описание всего комплекса электронной аппаратуры, включающего систему детекторов и входной регистрирующей электроники, многоканальную спектрометрическую систему для измерения времени пролёта в наносекундном и микросекундном диапазонах, а также линейный канал и логические устройства, обеспечивающие измерение амплитудных спектров импульсов сцинтилляционного бора, соответствующих регистрации событий радиационного захвата.

Система детекторов и входной регистрирующей электронной аппаратуры.

На рис.1 показана блок-схема экспериментальной установки и входной регистрирующей электроники.

Основным детектором для измерения сечения радиационного захвата является сцинтилляционный бак объёмом ~ 20 л. В детекторе используется жидкостной безводородный сцинтиллятор XC-52, а также боросодержащий сцинтиллятор, состоящий из 40% XC-1 и 60% триметилбората. Чувствительный объём детектора просматривается 8 фотоумножителями ФЭУ-56, выходные сигналы которых суммируются. Несмотря на то, что данный тип ф.э.у. является относительно медленным, благодаря изменению делителя в районе входной камеры и применению дискриминатора со следящим порогом было получено достаточно высокое временное разрешение детектора, которое составляло 1,9 нсек в динамическом диапазоне амплитуд $1 + 10$ МэВ. Кроме того, путём усовершенствования методики настройки и более тщательной подгонки временных характеристик и коэффициентов усиления ф.э.у. с помощью быстродействующей ^{252}Cf - камеры деления была значительно улучшена функция отклика детектора. На рис.2 представлены амплитудные спектры, полученные в сцинтилляционном баче при регистрации γ -лучей 4,43 МэВ из Pu-Be источниками и событий деления ^{252}Cf .

Детекторы нейтронного потока подробно описаны в работе [1]. Краткая характеристика всех используемых в эксперименте детекторов приведена в таблице.

Сигналы от детекторов поступают из измерительного помещения по кабелям длиной ~ 50 м на вход регистрирующей аппаратуры (блок

согласователей-разветвителей). Проведенные исследования показали, что временное разрешение детекторов при этом практически не ухудшается. Входная регистрирующая аппаратура построена по принципу быстро-медленной системы и содержит быстрый (временной) и медленный (линейный) каналы для каждого детектора. В качестве формирователя "нулевой" отметки времени регистрации импульсов детектором используется дискриминатор со следящим порогом [2], который был модернизирован применительно к используемым детекторам и реализован в стандарте ФИЦ. В линейных каналах применяется стандартная аппаратура ФИЦ.

Опорные импульсы тока с мишени ускорителя, отмечающие момент рождения нейтронной вспышки, усиливаются быстродействующим токовым усилителем (БУ), расположенным в непосредственной близости от мишени. Для уменьшения влияния на временное разрешение системы временного анализа амплитудного разброса импульсов тока в канале опорных импульсов также используется дискриминатор со следящим порогом.

Спектрометрическая система для измерений в области быстрых нейтронов.

Блок-схема аппаратуры для измерений в области быстрых нейтронов приведена на рис.3.

Для построения временного анализатора наносекундного диапазона применён широко распространённый принцип линейной трансформации временных интервалов в амплитуду импульсов с помощью время-амплитудного преобразователя (ВАП), выходные импульсы которого поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Конвертор ВАП [3] работает в режиме "старт-стоп". Сигналом "Старт" служат импульсы "Время" с детекторов, а сигналом "Стоп" - задержанные в соответствии с максимальным измеряемым интервалом времени $\Delta t_{\text{макс}}$ опорные импульсы с мишени ускорителя. Следует сказать, что такая организация работы ВАП позволяет исключить погрешность измерения времени пролёта, связанную с нестабильностью периода следования нейтронных импульсов ускорителя.

В качестве кодировщика номера детектора используется логическое устройство для многодетекторного временного анализа (ДУВР) [4], позволяющее проводить измерение временных спектров одновременно от 5 детекторов с помощью одного АЦП. Блок ДУВР обеспечивает: 1) формирование сигнала "Старт", соответствующего приходу на вход

измерительной системы сигнала "Время" одного из детекторов; 2) блокировку системы на всё время обработки информации; 3) формирование кода номера детектора; 4) формирование сигнала "Упр.вр. анализом", если на вход обработанного канала поступит сигнал "Управление" с соответствующего детектора.

В данном эксперименте устройство ЛУВР работает совместно с блоком селектора ширины канала (СШК), который дополнительно позволяет автоматически устанавливать необходимую ширину временного анализатора в зависимости от кода номера детектора, а также формирование сигналов "Признак 1" и "Признак 4", соответствующих срабатыванию 1 и 4 детекторных каналов, которые используются в логике управления амплитудным анализом.

На рис.4 приведена принципиальная схема блока СШК, который состоит из управляемого делителя частоты, селектора кодов и формирователя управляющих сигналов. Устройство имеет 5 детекторных входов. Изменение ширины временного канала производится за счёт изменения частоты адресной серии АЦП. Делитель частоты представляет собой синхронный счётчик на $J-K$ триггерах с коэффициентом пересчёта $K = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$, который задаётся в каждом из 5 каналов группами кнопочных переключателей. Селектор кода осуществляет выбор коэффициента K , соответствующий детекторному каналу, код которого подан на вход.

Таким образом, измерение время-пролётных спектров от 4 используемых детекторов производится одновременно, причём цена временного канала для каждого из детекторов может быть установлена различной в зависимости от требований эксперимента. Путём изменения коэффициента пересчёта адресной серии, а также коэффициента преобразования ВАЦ цена временного канала могла меняться от 0,1 нсек до 5 нсек с числом каналов от 64 до 1024. Собственное временное разрешение системы временного анализа не превышало 0,1 нсек. Интегральная и дифференциальная нелинейности в диапазоне Δt макс. = 2 мксек (число каналов 512), при котором проводились основные измерения, составляли $\leq 0,7\%$. На рис.5 показаны аппаратурные спектры, полученные с образцами урана и индия.

В эксперименте детектор с кристаллом стибьена применялся для настройки аппаратуры и контроля параметров импульсного пучка ускорителя. В рабочих сериях этот детектор с источником ^{60}Co использовался в качестве генератора случайных импульсов для измерения коэффи-

циента "мёртвого времени" системы (отношение числа отсчётов пересчётных приборов $\Pi\Pi_3$ и $\Pi\Pi_4$) и параметров (интегральной и дифференциальной нелинейностей) всего временного анализатора.

Измерение амплитудных спектров импульсов сцинтилляционного бака производится в системе одновременно с накоплением временных спектров благодаря использованию АЦП₂ и второго рабочего места ФИЦ. Выделение временных окон "Фон" и "Эффект+фон", для которых необходимо проводить измерения амплитудных спектров, осуществляется с помощью дифференциальных дискриминаторов ДД₅ и ДД₆ во временном канале и логического устройства ЛУАМ.

Блок ЛУАМ, принципиальная схема которого приведена на рис.6, обеспечивает: 1) формирование сигнала "Упр.сигл.анализом" только в том случае, когда в системе действует импульс сцинтилляционного бака ("Признак 1"); 2) формирование кода временного окна; 3) формирование сигналов "Э + Ф" и "Фон", поступающих на пересчётные приборы $\Pi\Pi_5$ и $\Pi\Pi_6$ соответственно, если в системе действует импульс детектора с кристаллом отльбена, являющегося генератором случайных импульсов ("Признак 4"). Так как последние на выходе ВАП образуют "белый" спектр, то число отсчётов $\Pi\Pi_5$ и $\Pi\Pi_6$ оказывается пропорциональным ширине окон ДД₅ и ДД₆. Это позволяет измерять ширину временных окон с высокой точностью в рабочих условиях.

Спектрометрическая система для измерений в области резонансных нейтронов.

Блок-схема аппаратуры для измерений в области резонансных нейтронов приведена на рис.7.

Измерение времяпролётных спектров для сцинтилляционного бака и детектора с ${}^6\text{Li}$ -стеклом производится с помощью временного кодировщика (ВЦК), преобразующего интервал времени между сигналами "Старт" с мишени ускорителя и сигналом "Стоп" от детекторов непосредственно в цифровой код. Временной кодировщик состоит из специально разработанного двухканального логического устройства для спектрометрии медленных нейтронов (ДУСМН), позволяющего производить измерение временных спектров одновременно для 2 детекторов, и стандартной логики АЦП (блоки "Логика А → Т" и "Т → N" ФИЦ).

Устройство ДУСМН [5], принципиальная схема которого показана на рис.8, обеспечивает: 1) формирование сигнала "Длительность Т", равного интервалу времени между импульсами "Старт" и "Стоп" одного

из детекторов, если он сопровождается сигналом "Упр."; 2) формирование кода номера детектора; 3) формирование сигнала "Запрет регистрации", если в измеряемый интервал времени (80 мксек) не поступит хотя бы один "Стоп", сопровождаемый сигналом "Упр.". Отличительной особенностью устройства является то обстоятельство, что благодаря применению режима разностной экспозиции путём блокировки входных сигналов "Стоп" на время, равное kT , где T - период следования сигналов "Старт", практически полностью устранено искажение временных спектров за счёт пропусков.

При использовании адресной серии АЦП, равной 10 МГц, цена канала временного кодировщика составляет 100 нсек. Интегральная и дифференциальная линейности в диапазоне измеряемых времён Δt макс. = 40 мксек не превышали 0,2%.

Измерение амплитудных спектров импульсов сцинтилляционного баке, как и при работе в области быстрых нейтронов, производится с помощью АЦП и второго рабочего места ФНЧ. Выделение двух временных окон ("Фон" и "Эффект + фон"), для которых требуется измерять амплитудные спектры, осуществляется устройством ЗВОИ (рис.9).

Устройство для задания временных окон ЗВОИ запускается сигналом "Старт" и имени усилителя и обеспечивает: 1) формирование сигнала "Упр. ампл. анализом" в случае попадания сигнала "Стоп" в сцинтилляционный бак в одно из временных окон; 2) формирование кода окна; 3) формирование сигнала "Запрет регистрации" в случае попадания импульсов "Стоп" в оба временных окна; 4) формирование задержанного сигнала "Старт", который используется для запуска временного кодировщика. Выбор необходимого участка временной шкалы и положение временных окон осуществляется путём изменения соответствующих задержек сигнала запуска. Благодаря применению одного и того же одновибратора для формирования временных окон, длительность их оказывается одинаковой.

Таким образом, как и при измерениях в области быстрых нейтронов, накопление амплитудных спектров импульсов сцинтилляционного баке в двух временных окнах происходит одновременно с измерением временных спектров. На рис.10 и 11 показаны аппаратные временные и амплитудные спектры, полученные с образцами урана, тантала и золота при измерениях в области резонансных нейтронов.

Эксплуатация описанного выше комплекса аппаратуры в течение ~1 года показала достаточно надёжную и стабильную работу. Кроме

эксперимента по измерению сечения радиационного захвата нейтронов этот комплекс использовался также в опытах по измерению блобированных сечений захвата и пропускания для целого ряда ядер.

В заключении авторы благодарят Л.А.Камаску, А.Г.Колпацкую, И.И.Кузяну и других сотрудников группы эксплуатации ФИЦ за помощь в настройке отдельных блоков комплекса.

Литература

1. В.Н.Кононов, Е.Д.Полетаев, Л.Е.Казиков, М.В.Бохожко. "Детекторы нейтронов с наносекундным временным разрешением". ПТЭ, №3, 1979.
2. С.Г.Басиладзе, В.К.Юдин. "Формирователи импульсов для многоканальных электронных установок". Препринт ОИЯИ, №13-10016, г.Дубна, 1976г.
3. Е.Д.Полетаев, В.Н.Кононов, М.В.Бохожко. "Электронная аппаратура эксперимента по измерению величины альфа для урана-235 и плутония-239 в области быстрых нейтронов". Препринт ФЭИ-290, Обнинск, 1971г.
4. В.Т.Деменков, А.Н.Миронов, В.С.Нестеренко. "Логическое устройство для многодетекторного временного анализа". В сб. "Вопросы атомной науки и техники. Серия "Реакторостроение", вып.5 (19), Обнинск, 1977.
5. А.Н.Миронов, В.С.Нестеренко, Е.Д.Полетаев. "Двухканальное устройство для спектрометрии медленных нейтронов". Тезисы докладов II Всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в ядерной физике (11-13 октября 1978г.) г.Алма-Ата, стр.201.

Таблица

Краткая характеристика детекторов

№	Детектор	Тип смеси-эмиттора	Размер, мм	Тип Ф.Э.У.	Диапазон амплитуд	Времянос. разрешение, нсек	Пролётная база, м
1.	Спектральный-мдв дет.	КС-52 или КС-14-10В	Ø 320	ФЭУ-56 (2шт.)	1 : 10 Мдв	1,9	2,44
2.	Детектор с Li-оружием	NE-908 NE-912	Ø 350,8 Ø 45x10	ФЭУ-50	1 : 5	2,1	2,25
3.	Детектор с 10 ⁶ В-пластинкой	№3 (Fe) (2шт)	Ø 80x50 пластина № 5025	ФЭУ-50 (2шт.)	478±50 Мдв	2,0	2,82
4.	Детектор с кристаллом стиблена	опытная	Ø 30x30	ФЭУ-50	1 : 10	0,5	-
5.	Камера долов или со слоем 252 Cf	(Si - Au) - п/п детектор	Ø 10	-	1 : 10	0,39	-

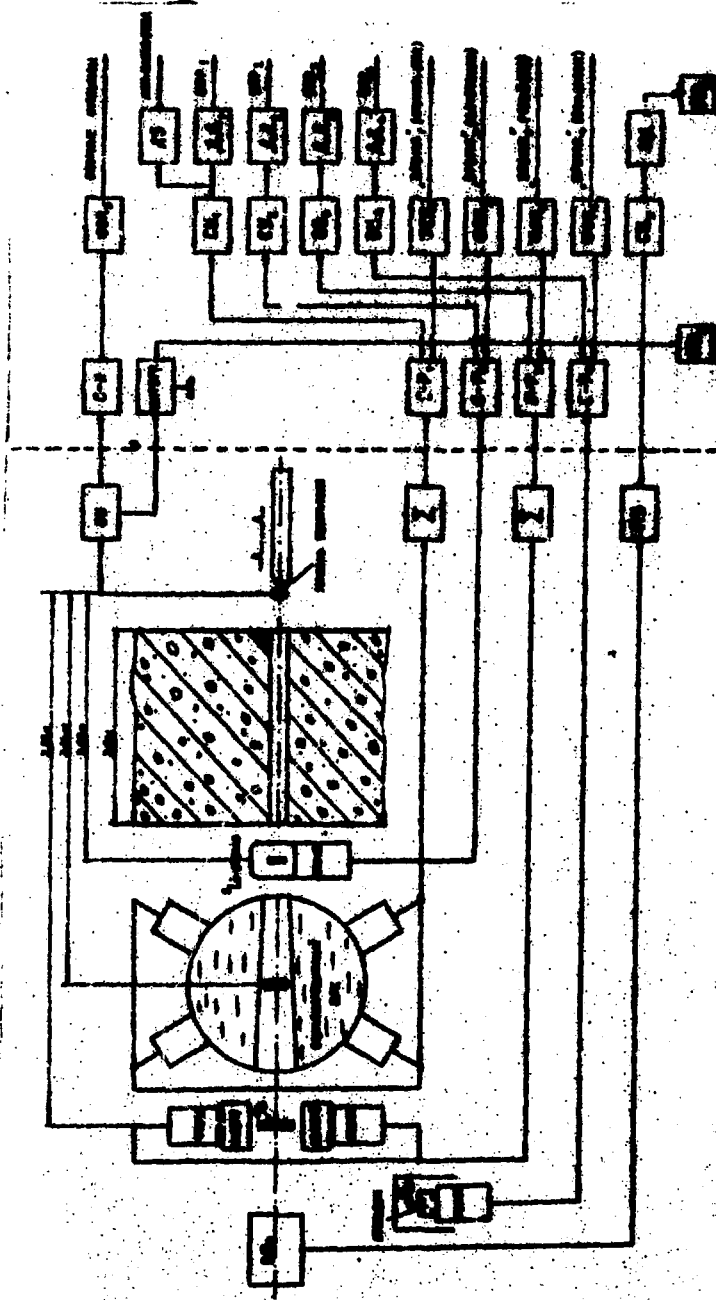


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки и входной регистрирующей аппаратуры.
Σ - сумматор, IV - предусилитель, БУ - быстрый усилитель, СУ - электрометрический усилитель,
С-И - согласователь-инвертор, С-Р - согласователь-разветвитель, ССД - формирователь со следя-
щим порогом, МД - импульсный дискриминатор, МД - дифференциальный дискриминатор, ШИ - микро-
вальный прибор, ИБ - источник задержки.

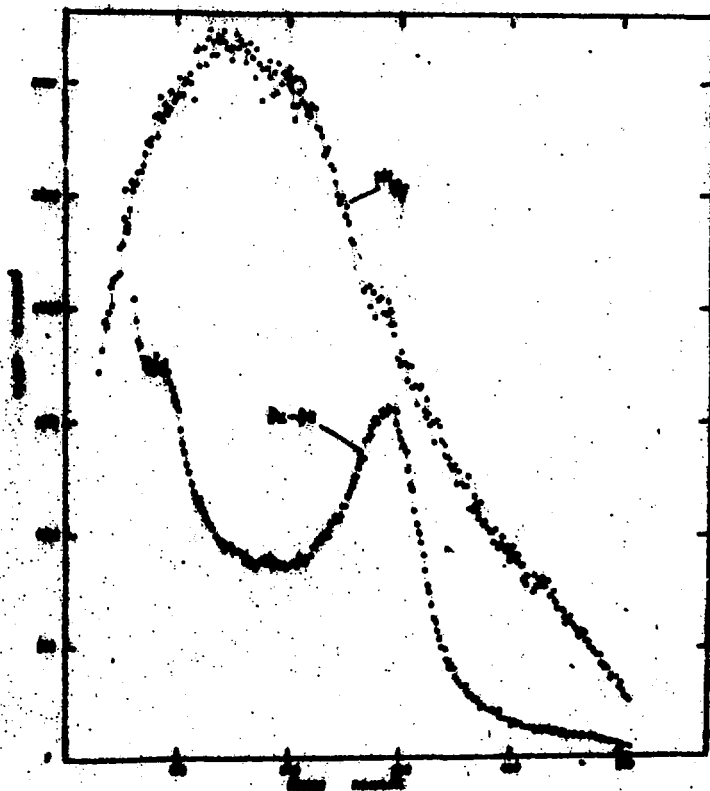


Рис.2. Амплитудные спектры импульсов сцинтиляционного
слага при регистрации γ -квантов 4,43 МэВ Pa-Be источ-
ника и событий деления ^{252}Cf .

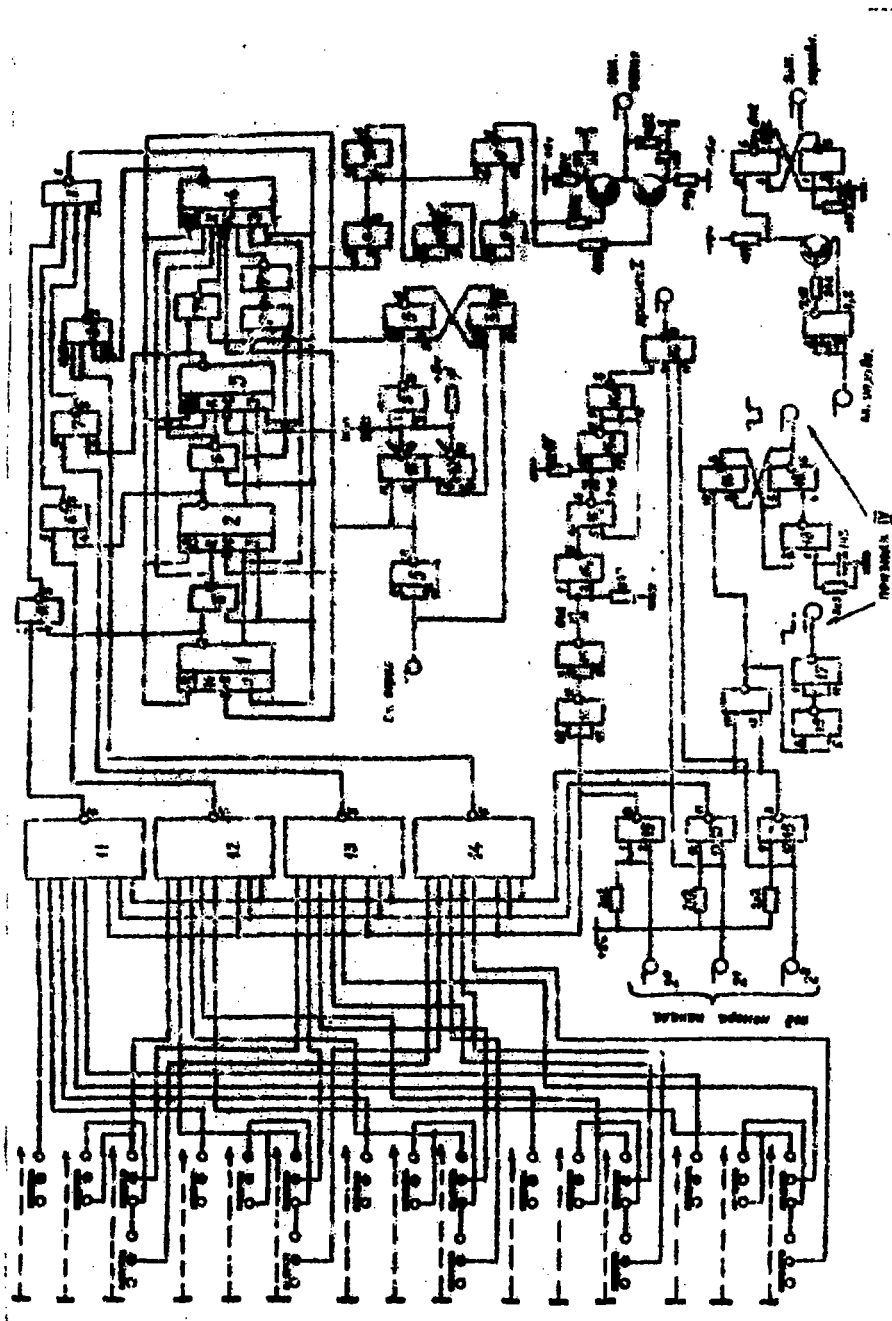


Рис. 4. Принципиальная схема блока селектора ширины канала СМК. 1-4 - I55TR1; 5-7, 9, 15, 16 - I55TA4; 10 - I55TA8; 11, 14 - KM155K15; 16 - I55TA4; 19 - I57TR1.

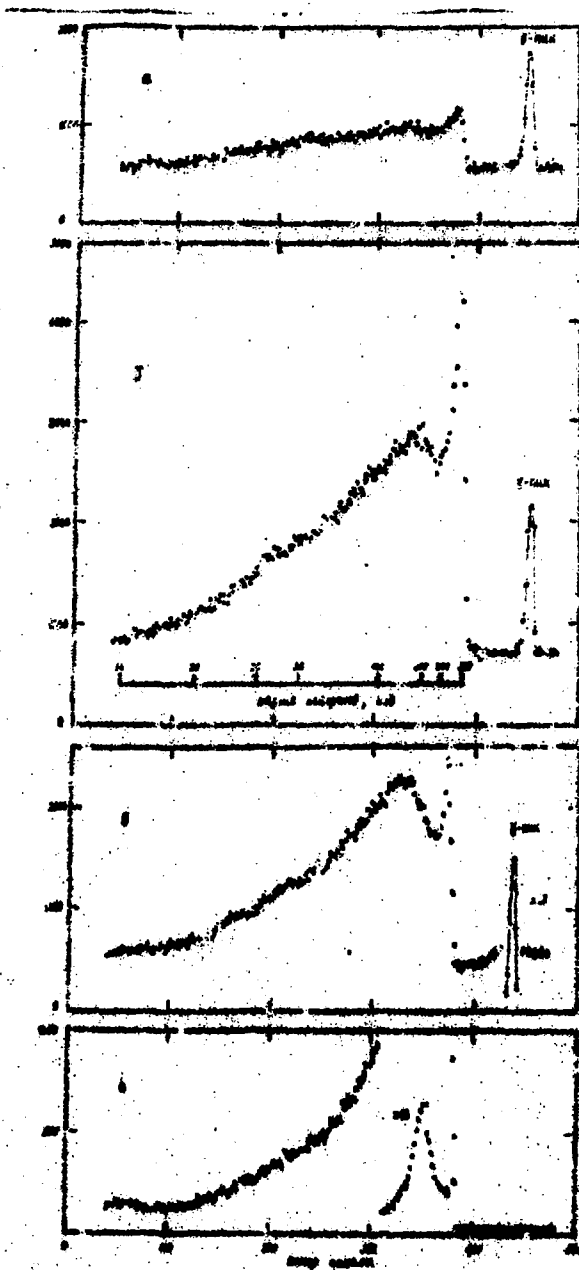


Рис. 5. Временные спектры в области быстрых нейтронов. Цена канала 4 нс/к. а, б - спектры событий захвата, измеренные оцифровочным баком с образцами урана-238 и кадмия; в - спектр нейтронов, измеренный детектором с ^{10}B -пластиной; г - спектр нейтронов, измеренный детектором с ^6Li -стеклом.

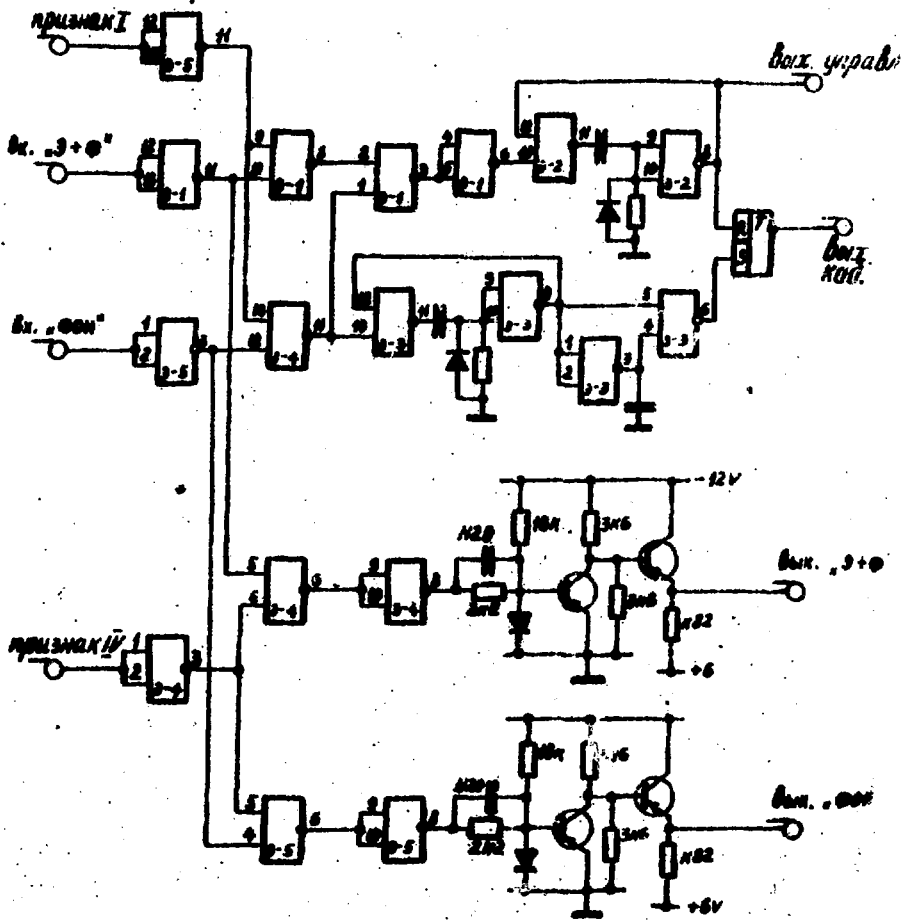


Рис.6. Принципиальная схема логического устройства для амплитудного анализа ЛАМ. 1-5 - 1551А3, 6-1551А2.

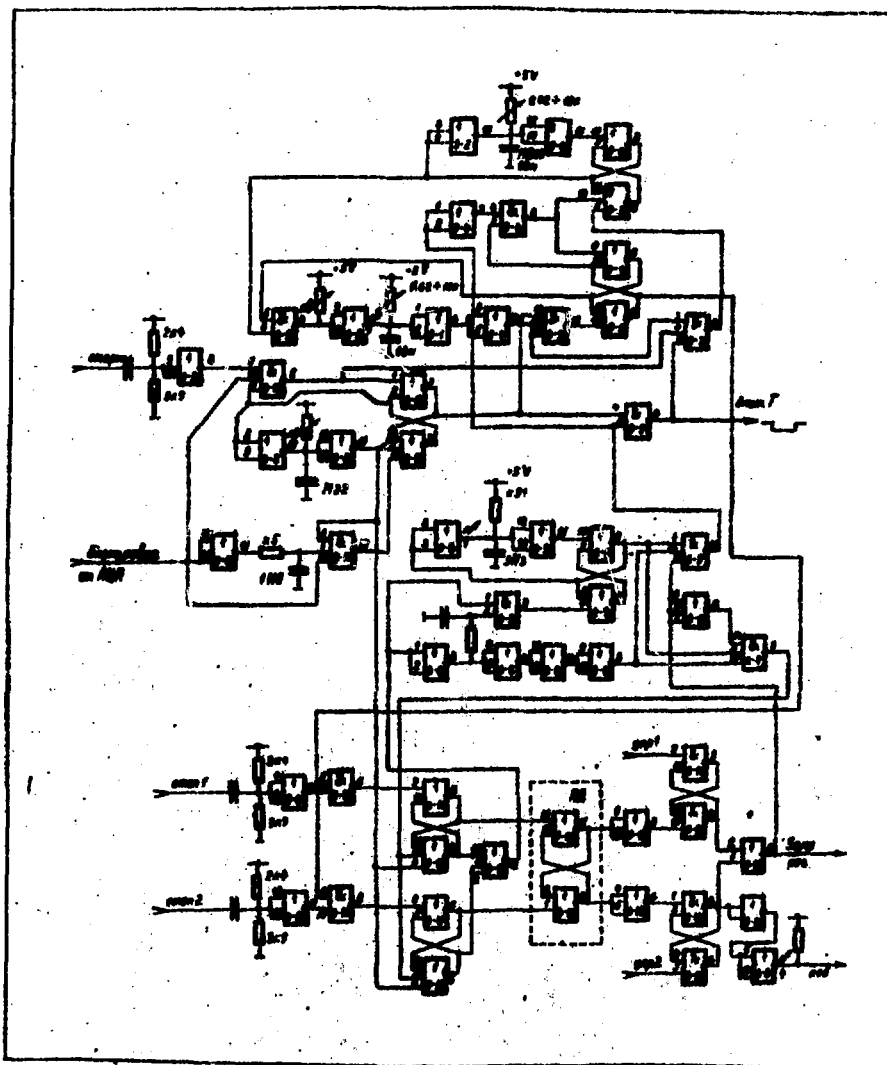


Рис.8. Принципиальная схема двухканального устройства для спектрометрии медленных нейтронов. ДУСМН. 1,4-6,9,11,13-25 - 155ЛА3; 2,8 - 155ЛА8; 3,7,10,12 - 155ЛА4.

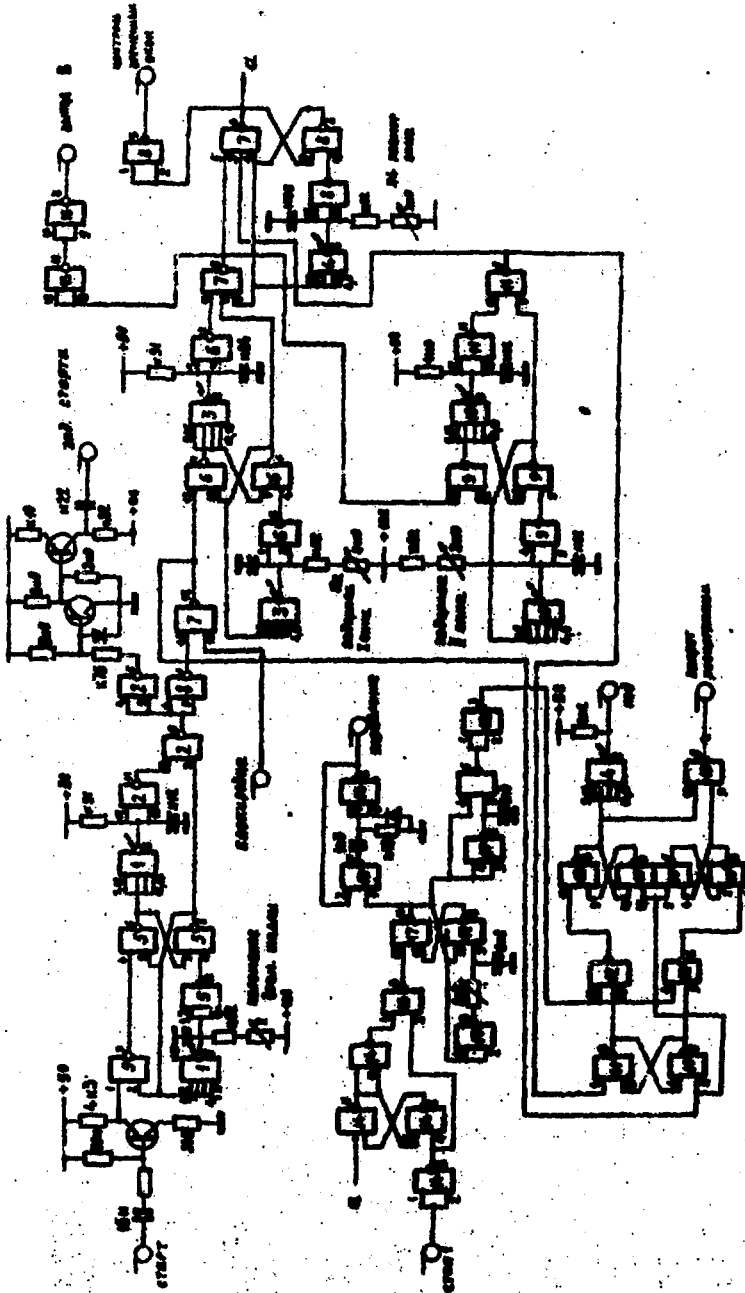


Рис. 9. Принципиальная схема устройства для задания временных окон ЗВОН. 1,3,4,10 - 155IA7; 2,5,6,8,9,11-17 - 155MA3; 7 - 155IA4.

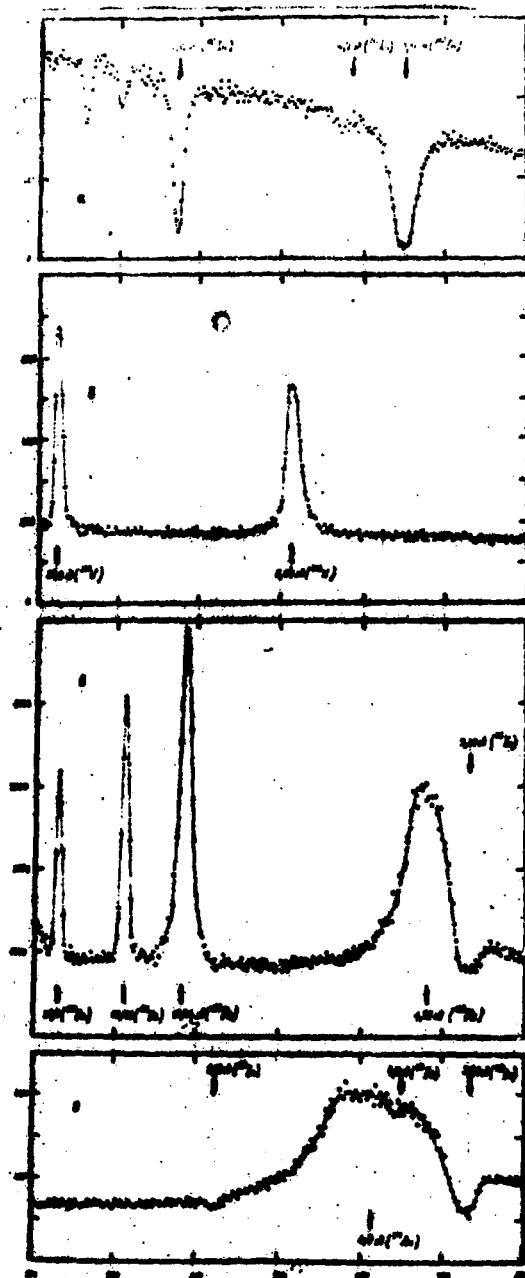


Рис. 10. Временные спектры в области резонансных нейтронов. Пучок нейтронов перекрыт фильтрами из In (2мм) и Cd (1,6мм). Целевая камера с ⁶Li-стеклом; а - спектр нейтронов, измеренный детектором с ⁶Li-стеклом; б, в, г - спектры событий захвата, измеренные сцинтилляционным баком с образцами урана-238, теллур и золота.

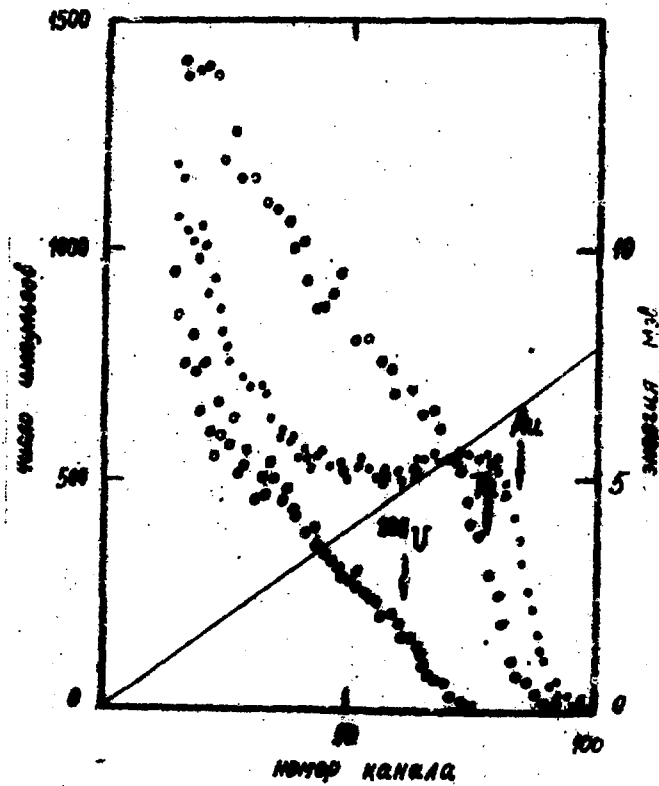


Рис. II. Амплитудные спектры импульсов оцинтиляционного бака при регистрации событий захвата в резонансах урана-238, тентала и золота.



Подписано в печать 6/IX-1979 г. Т-11991 формат 60x90 1/16

Офсетная печать Усл.п.л. 1,5 Уч.-изд.л. I Тираж III экз.

Заказ № 893 Цена 10 коп. Индекс 3624 ФЭИ-973

Отпечатано на роталприте ФЭИ, г.Обнинск

10 коп.

Индекс 3624