

3466

Экз. чит. зала

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3 - 3466



М. Дражев, С.С. Паржицкий

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ
В НЕЙТРОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ
ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1967.

3 - 3466

М. Дражев, С.С. Паржицкий

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ
В НЕЙТРОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ
ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА**

В ряде исследований ядерных реакций на малонуклонных системах, в которых одним из каналов является вылет нейтронов, желательна получение информации о полной кинематике процесса. С этой целью, вместе с измерением энергетических спектров нейтронов, в большинстве случаев получаемых на спектрометре по времени пролета, целесообразно проводить одновременное измерение и спектров сопровождающих заряженных частиц (многомерные спектры). К сожалению, быстрые пластические сцинтилляторы, которые используются в подобных спектрометрах, из-за низкого энергетического разрешения не позволяют выполнить эту задачу.

В канале регистрации заряженных частиц применяются и кремниевые поверхностно-барьерные детекторы /4,6,7,9/, которые обеспечивают хорошее энергетическое разрешение, но их использование для временного анализа связано с рядом трудностей, так как уровень получаемого сигнала мал и требует большого предварительного усиления, необходимого для нормальной работы существующих преобразовательных систем время-амплитуда. К применяемым для этой цели усилителям предъявляются противоречивые требования: они должны обладать большим коэффициентом усиления при малом времени нарастания и низком уровне шумов. Так как оптимальные спектротметрические свойства для амплитудного анализа невозможно совместить с вышеупомянутыми требованиями, целесообразно использование двух усилителей, один из которых может быть обычным линейным зарядочувствительным усилителем

с оптимальным соотношением сигнал/шум, а другой должен обеспечивать минимальные времена нарастания при достаточном коэффициенте усиления. Требования по отношению к линейности и к уровню шумов для последнего носят второстепенный характер. Подобное решение подкупает еще и тем, что оно связано с максимальным использованием имеющихся в каждой лаборатории приборов (обычные спектрометрические зарядочувствительные усилители и обычные преобразователи время-амплитуда).

В таком случае задача применения полупроводниковых детекторов в спектрометрах по времени пролета, в основном, сводится к следующему:

а) разделенные импульсы от полупроводникового детектора для временного и амплитудного трактов;

б) конструирование широкополосного усилителя с большим коэффициентом усиления для временного тракта;

в) обеспечение амплитудной независимости конвертора; имеются в виду сравнительно большие времена нарастания импульсов из-за толщины перехода детектора и свойств применяемого кремния^{/2/}, а также из-за конечной полосы пропускания широкополосного усилителя в канале сопровождающих частиц.

Разделение сигналов непосредственно после детектора можно осуществить как при параллельном (емкостная связь), так и при последовательном (трансформаторная связь) включения входных цепей обоих усилителей^{/4,7,9/}.

В последнем случае блок-схема спектрометра может быть представлена, как это показано на рис. 1. Здесь сигнал для временного тракта выделяется при помощи импульсного трансформатора (Т). После усиления его первой ($ИВ_{\alpha}$) и второй ($ИВ_{\alpha}$) секций быстрого усилителя, которые разделены константой дифференцирования $RC \approx 24 \cdot 10^{-9}$ сек, сигналы поступают в канал "а" преобразователя время-амплитуда (П), в котором введены устройства для компенсации амплитудной зависимости. "Быстрый" сигнал поступает также через дифференциальный дискриминатор ($ДД_{\alpha\beta}$) в трехкратную схему совпадений (СС), которая управляет схемами пропускания в канале анализа энергии нейтронов ($СП_{\alpha}$) и в канале анализа энергии заряженных частиц ($СП_{\alpha}$).

Сигналы для амплитудного тракта усиливаются при помощи предварительного зарядочувствительного усилителя (IA_{α}) и универсального спектрометрического усилителя ($ПА_{\alpha}$). Через дифференциальный дискри-

минатор (ДД_{αα}) они также поступают в схему совпадений.

Нейтроны из мишени М детектируются при помощи органического сцинтиллятора и ФЭУ. Отсюда через формирователь В "временной" сигнал поступает в канал "а" преобразователя, а сигналы для амплитудного отбора (формирователь А) через усилитель (IА_н) и дифференциальный дискриминатор (ДД_н)- в схему совпадений.

Рассматривая отдельные узлы спектрометрической установки, необходимо иметь в виду следующие особенности: конструкция импульсного трансформатора должна обеспечить необходимое быстродействие, и его индуктивность рассеяния необходимо свести к минимуму. Он может быть выполнен на тороидальном высокочастотном сердечнике с параллельно уложенными первичной и вторичной обмотками (N_п = 17, N_в = 17, μ = 400, φ = 7 см, L = 15 · 10⁻⁶ Гн). Для уменьшения его добротности и связанных с последней переходных процессов параллельно вторичной обмотке включено демпфирующее сопротивление R₁.

Одним из основных узлов спектрометра является быстрый усилитель, который должен обладать большой добротностью (произведение коэффициента усиления на полосу пропускания порядка 10⁹ ÷ 10¹¹ гц). Независимо от того, что подобным усилителям посвящено большое число публикаций (см., например, /4,5,8/), их реализация связана с определенными трудностями.

В нашем случае были использованы 2 секции ранее разработанного "быстрого" универсального усилителя (см. рис. 2). Каждая секция представляет собой "тройку" с гальванически связанными между собой каскадами, охваченными глубокой отрицательной обратной связью как по переменному, так и по постоянному току, вследствие чего достигается необходимая стабилизация рабочих точек при изменении окружающей температуры и напряжения питания. Дополнительное снижение температурной зависимости достигается применением термисторов (R₁₁₁, R₂₁₁).

Можно показать, что коэффициент усиления подобной тройки для средних частот, в предположении одинаковости параметров транзисторов, будет:

$$K = \frac{h_{21}^2 Z_k}{h_{11} + h_{21} R_2} \cdot \frac{R_2 h_{21}^4 Z_k^2}{[(R_2 + R_3)(h_{11} + h_{21} R_2) + R_2 h_{21}^2 Z_k] (h_{11} + h_{21} R_2)}$$

где Z_k - коллекторная нагрузка второго транзистора;

R₂ - эквивалентное сопротивление в цепи эмиттера первого транзистора;

а R_3 - сопротивление в делителе обратной связи.

Необходимо отметить наличие емкостей (C_{12}, C_{22}), уменьшающих коэффициент обратной связи на высших частотах. Основные характеристики усилителя временного тракта канала сопровождающих частиц, нагруженного на согласованный 75 -омный кабель, приведены в таблице № 1.

Таблица 1

Основные характеристики усилителя "временного тракта"

№№ пп	Характеристика	Примечание	
1.	Полярность входных импульсов	отрицательная	
2.	Полярность выходных импульсов	отрицательная	
3.	Коэффициент усиления (регулируемый)	500 ÷ 1000	
4.	Время нарастания	$\approx 6 \cdot 10^{-9}$ сек	
5.	Верхняя граничная частота ($K = 700$; $U_{\text{вых}} = 0,68 \text{ В}$)	$70 \cdot 10^6$ гц	см.рис. 3
6.	Добротность	$50 \cdot 10^9$ гц	
7.	Интегральная нелинейность (максим. отклон.)	лучше $\pm 0,3 \%$	см.рис.4
8.	Дифференциальная нелинейность	лучше 1,6%	см.рис. 5
9.	Изменение усиления при изменении температуры	$+ 0,03\%/^{\circ}\text{C}$	см.рис. 6
10.	Изменение усиления в % при изменении напряжения питания в %	0,2	см.рис. 7
11.	Максимальная амплитуда выходных импульсов для вышеуказанных параметров	5 в	
12.	Шумы, приведенные к входу, при $RC = 1,2 \cdot 10^{-6}$ сек, при $RC = 24 \cdot 10^{-9}$ сек	$60 \cdot 10^{-6}$ в.эфф. $28 \cdot 10^{-6}$ в.эфф.	
13.	Питание: + 12 в - 12 в	$18 \cdot 10^{-3}$ а $9,4 \cdot 10^{-3}$ а	
14.	Монтаж	2 печатных платы 90 x 45 мм	

Обе секция усилителя идентичны за исключением стабилитрона в коллекторной цепи эмиттерного повторителя второй секции, что обусловлено необходимостью расширения динамического диапазона со стороны больших выходных амплитуд. Монтаж должен быть тщательно продуман, чтобы влияние нежелательных обратных связей свести к минимуму.

Система компенсация амплитудной зависимости логарифмического типа, которая применяется в преобразователе время-амплитуда, позволяет уменьшить в большой степени влияние конечных времен нарастания сигнала. Она подробно рассмотрена в работе ^{/10/}.

Решение зарядочувствительного предварительного усилителя ($I A_{\alpha}$) классическое, он выполнен на обычных транзисторах, содержит каскад с эмиттерным повторителем на входе и обеспечивает на выходе примерно 100 мВ/Мэв при измерении на α -частицах. Остальные элементы спектрометра обычны и не нуждаются в особом пояснении.

Предварительные испытания временной и амплитудной части спектрометрической системы показали, что при использовании в канале сопровождающих частиц кремниевого поверхностно-барьерного детектора с площадью $0,3 \text{ см}^2$ и толщиной перехода $\approx 200 \text{ мк}$, сопротивлением кремния $2000 \text{ ом}\cdot\text{см}$ и напряжением смещения 100 в на α -частицах с энергией около 5 мэв (Am^{423} , Am^{241} , Cm^{244}) разрешение составляло 43 кэв (см.рис.8). Здесь генераторный пик (32 кэв) был получен при включенном детекторе. Константы интегрирования и дифференцирования в основном усилителе ($II A_{\alpha}$) были выбраны равными $0,2 \cdot 10^{-6}$ сек. Одновременно с импульсами, получаемыми в спектрометрическом тракте, в этом же эксперименте при помощи временного тракта выделялись и быстрые импульсы, которые для вышеупомянутого детектора на выходе быстрого усилителя имели время нарастания около $7 \cdot 10^{-9}$ сек и амплитуду, примерно, 1 в/мэв.

Энергетическое разрешение α -частиц (см.рис.9), получаемых одновременно со спектром нейтронов в реакции, составляет 216 кэв, что обусловлено конечной толщиной мишени и фольги от рассеянных дейтонов, а временное разрешение в нейтронном спектре (см.рис.10), благодаря применению двойной логарифмической компенсации ^{/10/}, независимо от сравнительно большого времени нарастания старт-импульса от сопровождающих α -частиц, составляет $\approx 1 \cdot 10^{-9}$ сек.

Л и т е р а т у р а

1. G. Dearnaley, A. Whitehead, N.I. and M. 12, 205 (1961).
2. P. Siffert, H. Rougeot, A. Coche Conf. Electronique Nucleaire 1963, Paris (1964).
3. P. Vergerac, I. Kanane, Conf. Electronique Nucleaire 1963 Paris (1964)
4. H. Katzenstein, R. Alexander, Conf. Electronique Nucleaire 1963, Paris (1964).
5. A. Lavaitte, Conf. Electronique Nucleaire 1963, Paris (1964).
6. A. Basive, B. de Cosnac, J. Labbé, Conf. Electronique Nucleaire 1963, Paris (1964).
7. Д. Дирли, Д. Нортроп - Полупроводниковые счётчики ядерных излучений. М. (1966).
8. H. Meyev, IEEE Trans, on N.S.-13 N3 (1966).
9. B. Lalovic, V. Ajdacic, H. Pai, B. Petrovic, IEEE Trans. on N.S.-13N3 (1966).
10. М. Дражев, С. Паржицкий. Методы компенсации амплитудной зависимости в преобразователях время-амплитуда. Доклад на рабочем совещании по наносекундной электронике. Дубна (1967) .

Рукопись поступила в издательский отдел

27 июля 1967 года.

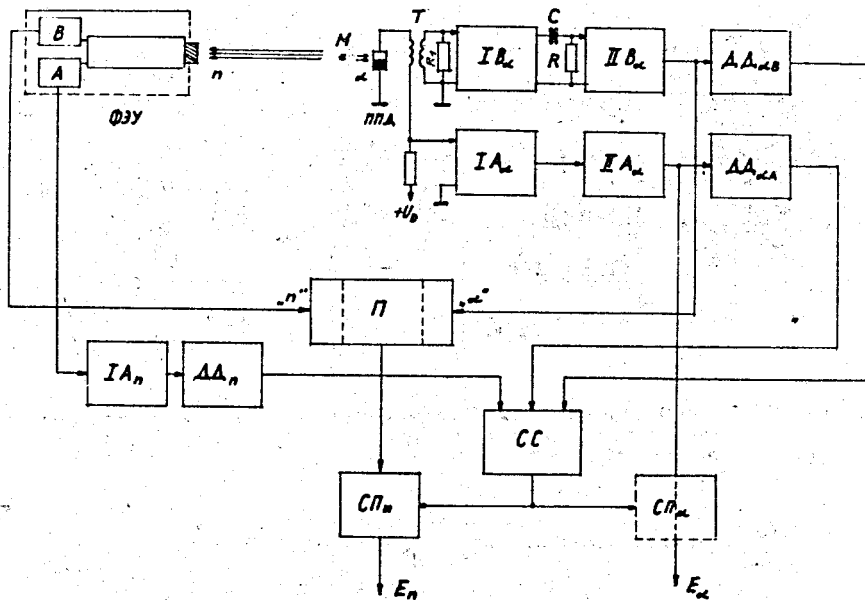


Рис. 1. Блок-схема спектрометрической установки для одновременного измерения спектров быстрых нейтронов по времени пролета и спектров заряженных частиц, сопровождающих вылет нейтронов.

M - мишень,

ППД - полупроводниковый детектор,

ФЗУ - сиянтилляционный детектор с формироваателями А и В,

T - импульсный трансформатор,

IB_{α} - IIA_{α} - усилитель "временного" тракта канала сопровождающих частиц,

IA_{α} - зарядочувствительный предусилитель,

IIA_{α} - линейный спектрометрический усилитель,

IA_n - линейный усилитель,

$DD_{\alpha A}$ $DD_{\alpha B}$ DD_n - дифференциальные дискриминаторы,

Π - преобразователь время-амплитуда типа перекрытия с компенсирующей амплитудной зависимостью,

СС - трехкратная схема совпадения,

$СП_n$, $СП_{\alpha}$ - схемы пропускания.

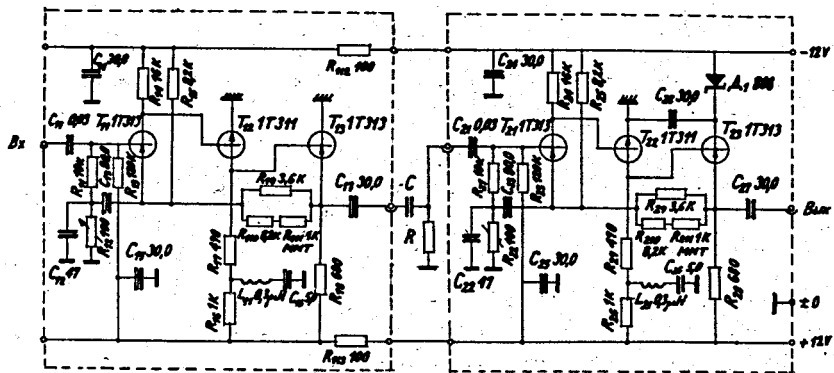


Рис. 2. Принципиальная схема усилителя временного тракта канала сопровождающих частиц с коэффициентом усиления $K = 500-1000$ и временем нарастания $\approx 6:10$ сек.

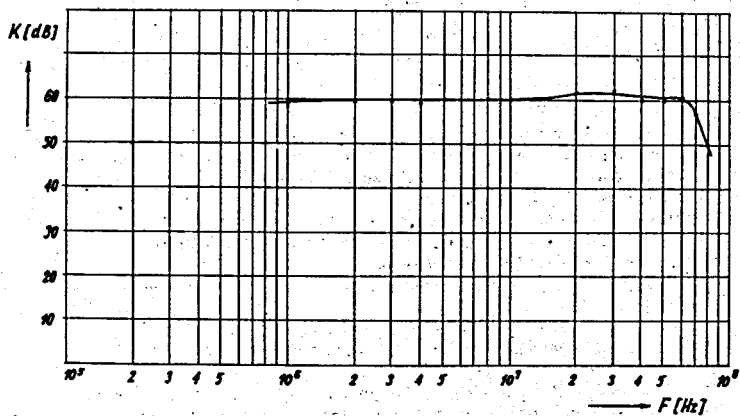


Рис. 3. Частотная характеристика усилителя временного тракта канала сопровождающих частиц. Нагрузка - согласованный 75-омный кабель.

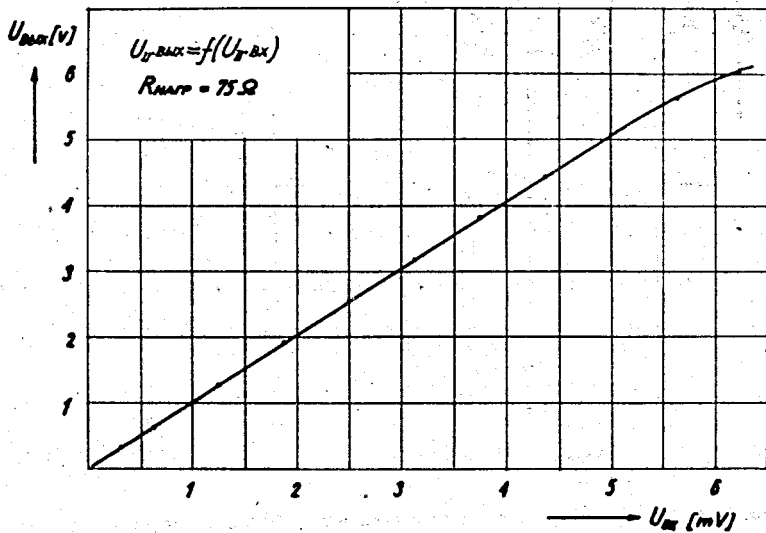


Рис. 4. Интегральная нелинейность усилителя временного тракта канала сопровождающих частиц. Нагрузка - согласованный 75-омный кабель.

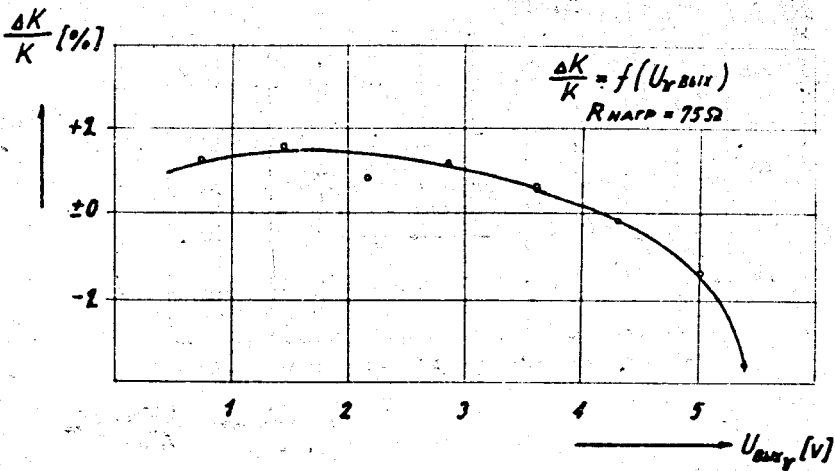


Рис. 5. Дифференциальная нелинейность усилителя временного тракта канала сопровождающих частиц. Нагрузка - согласованный 75-омный кабель.

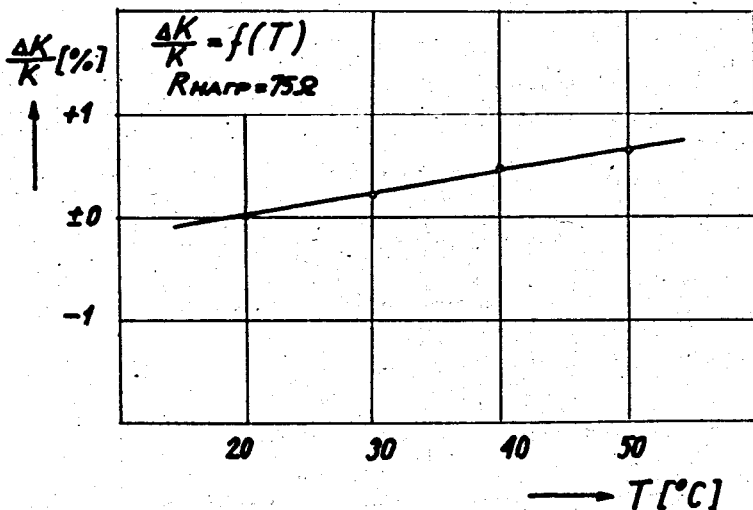


Рис. 6. Изменение коэффициента усиления как функция температуры для усилителя временного тракта канала сопровождающих частей.

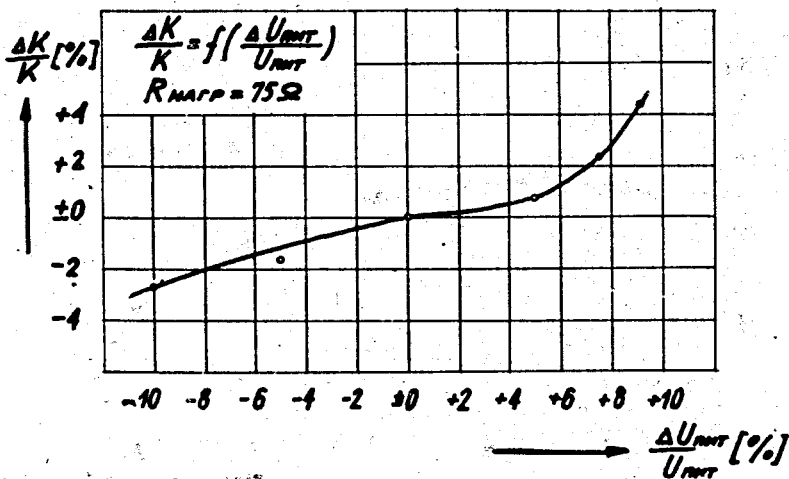


Рис. 7. Изменение коэффициента усиления как функция напряжения питания для усилителя временного тракта канала сопровождающих частей. Нагрузка - согласованный 75 ом кабель.

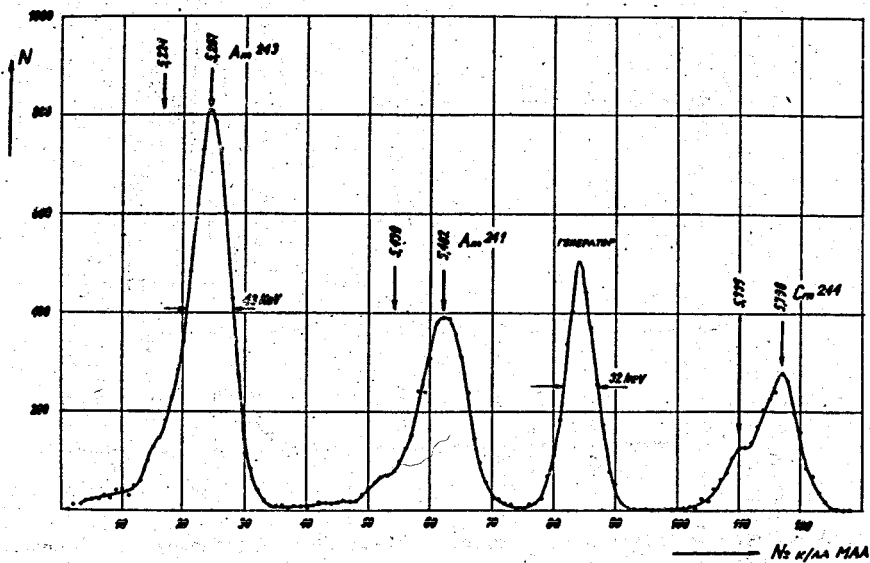


Рис. 8. Спектр, иллюстрирующий работу амплитудной части канала сопровождающих частиц, измеренный при помощи кремниевого детектора поверхностно-барьерного типа и источника A_m^{243} , A_m^{241} , C_m^{244} . Пик генератора получен при включенном детекторе.

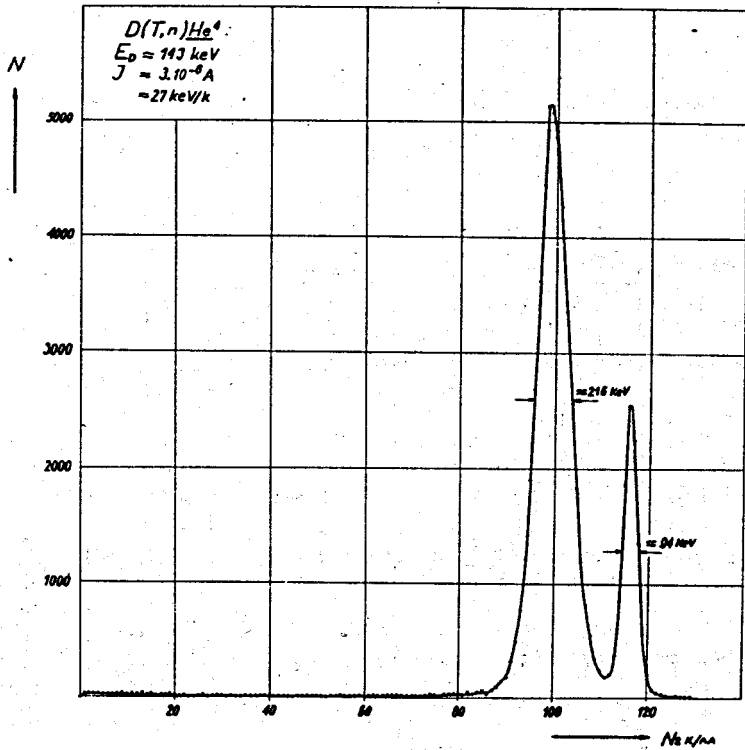


Рис. 9. Спектр α -частиц из реакции $D(T,n)He^4$,учаемый одновременно с нейтронным спектром на кремниевом поверхностно-барьерном детекторе. Сопровождающий пик (94кэв) обусловлен протонами из реакции $D(D,p)H^3$.

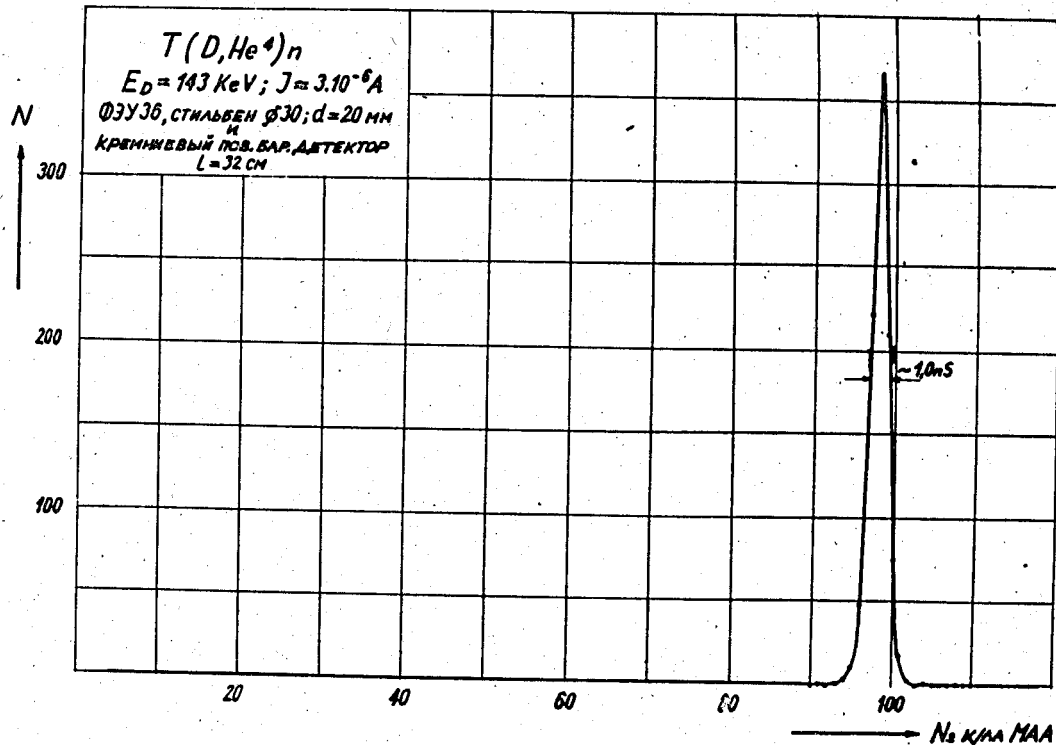


Рис.10. Спектр нейтронов по времени пролета из реакции $D(T, n)He^4$. Сигнал "старт" получается от кремниевого поверхностно-барьерного детектора. Сигнал "стоп" - от ФЭУ 36 со стильбеновым кристаллом $\phi 30 \text{ мм}$, $d = 20 \text{ мм}$. Пролетная база 32 см. Применена компенсация амплитудной зависимости (двойное логарифмирование).