

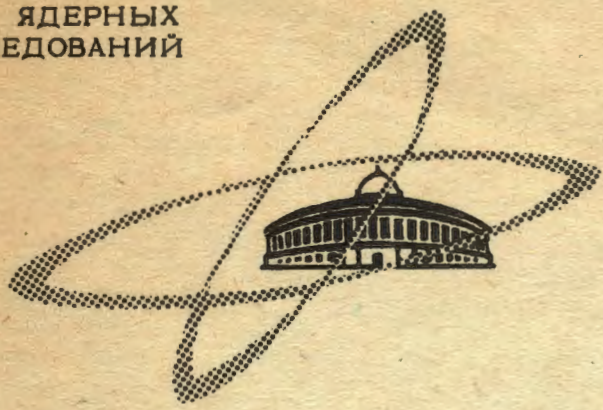
А 724

12/viii - 68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 3878



Н. Антонова, С.Г.Басиладзе, И.Ф.Колпаков,
А.Н. Максимов, М.Н.Омельяненко, В.В.Фильченков

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

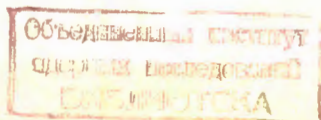
СХЕМА РАЗДЕЛЕНИЯ НЕЙТРОНОВ
И γ -КВАНТОВ ПО ФОРМЕ ИМПУЛЬСА
В СЦИНТИЛЛЯЦИОННОМ СЧЕТЧИКЕ

1968

4385/2 mp

Н. Антонова, С. Г. Базиладзе, И. Ф. Колпаков,
А. Н. Максимов, М. Н. Омеляненко, В. В. Фильченков

СХЕМА РАЗДЕЛЕНИЯ НЕЙТРОНОВ
И γ -КВАНТОВ ПО ФОРМЕ ИМПУЛЬСА
В СЦИНТИЛЛЯЦИОННОМ СЧЕТЧИКЕ



В ряде физических экспериментов, в частности при изучении захвата мюонов ядрами, возникает необходимость регистрации нейтронов на фоне релятивистского излучения. В настоящее время в литературе описано большое количество электронных схем /1+17/, позволяющих проводить дискриминацию импульсов от γ -квантов, т.е. регистрировать их с крайне низкой эффективностью по отношению к эффективности регистрации нейтронов. В основу работы этих схем положен эффект различия формы светового импульса в ряде сцинтилляторов в зависимости от природы ионизирующей частицы.

Известно /1/, что в кристалле стиблена световой импульс состоит из двух компонент: "быстрой" с временем высвечивания $\tau_6 = (6+8)$ нсек и медленной с временем высвечивания $\tau_M = (300+500)$ нсек. Для протонов площадь "медленной" части импульса составляет $\approx 20\%$ от полной площади, а для электронов $\approx 10\%$.

На рис.1 показана форма импульса тока с выхода ФЭУ от нейтронов и от γ -квантов.

При регистрации нейтронов выходной импульс тока с ФЭУ описывается выражением

$$J(t) = J_0 e^{-\frac{t}{\tau_6}} + J_1 e^{-\frac{t}{\tau_M}}, \quad (1)$$

а при регистрации γ -квантов выражением

$$J(t) = J_0 e^{-\frac{t}{\tau_0}} + J_2 e^{-\frac{t}{\tau_M}}, \quad (2)$$

где J_1 - амплитуда импульса, t - время.

Для дискриминации частиц по форме импульса используется в основном два метода: метод дифференцирования проинтегрированного входного импульса с последующим применением дискриминатора "пересечения нуля" и метод сравнения зарядов "быстрой" и "медленной" компонент сигнала.

В нашей работе используется последний метод, который позволяет осуществить дискриминацию частиц по форме импульса более простыми средствами.

Блок-схема прибора показана на рис.2. Выходной ток ФЭУ на входе схемы разделяется так, что 0,1 часть его используется для амплитудного анализа импульсов, а 0,9 - для дискриминации по форме.

В канале дискриминации входной ток подается на делитель, отделяющий "быструю" часть импульса тока от "медленной". Временная диаграмма приведена на рис.3. Обе эти части подаются на соответствующие интеграторы - "быстрый" (U_0) и "медленный" (U_M). "Медленный" интегратор также инвертирует полярность импульса на выходе. На выходе интеграторов сигналы обоих каналов складываются. Схема настраивается таким образом (подстройкой U_M), чтобы амплитуда импульса с выхода U_M при счете γ -квантов была равна амплитуде импульса с выхода U_0 (см. рис.3). Тогда положительная составляющая

шая суммы появится только при регистрации нейтронов. Эта положительная составляющая запускает дискриминатор.

В амплитудном канале ток ФЭУ усиливается и подается на интегратор U_{Σ} . На его выходе сигнал по амплитуде пропорционален полной площади импульса тока ФЭУ. Этот импульс подается на вход амплитудного анализатора через линейные ворота, управляемые дискриминатором канала разделения по форме.

Для амплитудного анализа импульсов от γ -квантов вводится разбаланс между интеграторами U_{δ} и U_{μ} за счет увеличения амплитуды импульса с выхода U_{μ} . При этом каждый суммарный импульс имеет положительную составляющую, которая запускает дискриминатор.

Схема имеет формирователи счетных импульсов с выхода дискриминатора (вых. "в") и интегратора U_{Σ} (вых. "Σ"), стандартизирующие выходные сигналы на уровне 5 в с длительностью 2,5 мксек, а также линейный выход для амплитудного анализа (вых. "AA").

Принципиальная схема блока дискриминации приведена на рис.4. Разделитель "быстрой" и "медленной" составляющих импульса тока ФЭУ выполнен на транзисторах T_1, T_2 (ГТ311) и индуктивности L_1 . "Быстрая" часть тока коллектора T_1 через диод D_2 заряжает интегрирующую емкость C_1 , равную 130 пф. Через время (20+30 нсек) индуктивность L_1 начинает пропускать ток, что приводит к закрыванию диода D_2 . Таким образом, через диод D_2 проходит только "быстрая" составляющая тока ФЭУ. "Медленная" составляющая тока, ответвляясь в индуктивность L_1 , проходит через транзистор T_2 и с коллектора последнего через диод D_4 заряжает емкость C_0 . В "медленном" интеграторе через собственную ем-

кость катушки L_1 "пролезает" и часть "быстрой" компоненты импульса тока (около 20%). Поэтому важно безъемкостное выполнение индуктивности.

Транзисторы T_3, T_4, T_5 (П416Б) и T_6, T_7, T_8 (П416Б) образуют эмиттерные повторители для обеспечения большого входного сопротивления. Транзистор T_8 выполняет функцию инвертора, а также усиливает сигнал в два раза. Отсутствие на выходе сумматора "быстрого" и "медленного" интеграторов положительной составляющей импульса (баланс) при счете γ -квантов достигается подстройкой емкости C_0 . Через эмиттерный повторитель на транзисторе T_9 (П416Б) сигнал суммы подается на дискриминатор.

Дискриминатор состоит из усилителя ($K_u = 10$) и собственно дискриминатора на туннельном диоде с индуктивностью L_3 . Токозадающим элементом является транзистор T_{13} (П10). Максимальная чувствительность дискриминатора для импульсов на выходе эмиттерного повторителя T_9 составляет 50 мв; чувствительность регулируется потенциометром в базе транзистора T_{13} до 0,5 в. Формирователь вых. "а" собран на транзисторах T_{24}, T_{25} (П416Б). Формирователь вых. "Σ" на транзисторах T_{26}, T_{27} (П416Б) не отличается от формирователя Вых. "а"

Усилитель и интегратор в амплитудном канале аналогичны усилителю и интеграторам в канале дискриминации.

Линейные ворота выполнены на транзисторах T_{20}, T_{21} и T_{22}, T_{23} (ГТЗ11).

Транзистор T_{21} используется для управления входным током транзистора T_{20} . При помощи дифференциальной пары на транзисторах T_{22} и

T_{23} компенсируется "пьедестал", появляющийся при переключении режимного тока транзистора T_{21} в транзистор T_{20} . В исходном состоянии открыты транзисторы T_{21} , T_{22} . При отсутствии управляющего импульса входной ток проходит в коллектор транзистора T_{21} . При поступлении управляющего импульса транзисторы T_{21} и T_{22} закрываются, а T_{20} и T_{23} открываются.

Величины индуктивностей $L_1 = 50$ мкГн, $L_2 = L_4 = 20$ мГн выбраны так, чтобы "быстрая" и "медленная" части входного импульса тока отвечали в соответствующие интегрирующие емкости. Введение этих индуктивностей позволило обеспечить малое сопротивление по постоянному току в базах соответствующих эмиттерных повторителей для их температурной и временной стабильности.

Для регистрации γ -квантов тумблером "К" уменьшается емкость C_0 "медленного" интегратора - этим достигается разбаланс. Для настройки схемы по осциллографу сигнал суммы с эмиттера транзистора T_9 выведен на клемму передней панели "настройка".

Схема выделения нейтронов на фоне γ -квантов имеет на входе сумматор, что дает возможность работать от нескольких счетчиков (до десяти).

Для настройки схемы был разработан генератор, имитирующий импульсы от сцинтилляционного счетчика, вызванные релятивистскими γ -импульсами и нерелятивистскими (нейтронные импульсы) частицами (см. рис.1).

Используя то обстоятельство, что площади "медленной" части импульса тока от нейтронов и от γ -квантов отличаются в два раза и

принимая во внимание соотношение "быстрой" и "медленной" части импульсов, можно найти, что $J_0 = 400 J_1$ для нейтронов и $J_0 = 800 J_2$ для γ -квантов соответственно, выходной сигнал генератора формируется из двух экспонент: "быстрой" с $\tau_6 = 6$ нсек и "медленной" с $\tau_M = (300+500)$ нсек, причем амплитуда "быстрой" части в 400 раз больше амплитуды "медленной" части. В схеме генератора предусмотрена возможность уменьшения вдвое амплитуды "медленной" компоненты сигнала для обеспечения соотношения $J_0 = 800 J_2$.

Принципиальная схема генератора показана на рис.5. На вход подается импульс длительностью 2 мксек с фронтом 1 нсек. Для этой цели используется ртутный генератор с 50-омным формирующим кабелем длиной 250м. Этот импульс поступает на "быстрый" (транзисторы T_1, T_3) и на "медленный" каналы (T_2, T_4) и далее на смеситель (транзистор T_5). Транзистор T_1 (ГТ311) - согласующий. В "быстром" канале сигнал дифференцируется с постоянной времени $\tau_6 = 6$ нсек ($R_1 C_1$), а в медленном с $\tau_M = 300$ нсек ($R_3 C_2$). С помощью потенциометра $1k$ изменяется длительность медленной экспоненты от 300 до 500 нсек. Эмиттерный повторитель на транзисторе T_3 (ГТ313) улучшает условия дифференцирования быстрой экспоненты. Режим транзисторов T_3 и T_5 задается делителем. При нагрузке 150 ом для "быстрого" сигнала транзистор T_5 работает как усилитель напряжения, а для "медленного" - в режиме деления. Коэффициент передачи быстрого канала $K_6 = 0,85$. Коэффициент передачи меньше 1, так как амплитуда несколько уменьшается при дифференцировании.

В медленном канале деление сигнала происходит дважды: в транзисторе T_2 (ГТ311) входной импульс делится в отношении 1/37 и далее на

делителе резистора R_4 и $\rho = 150$ ом в отношении 1:14. С помощью тумблера "К" амплитуда медленной экспоненты изменяется в два раза. Коэффициент передачи медленного канала $K_M = 1/160$ (с учетом коэффициента передачи транзисторов T_2, T_3).

Отношение амплитуд "быстрой и медленной" экспонент для "нейтронов" на выходе генератора равно $K_n = \frac{K_6}{K_M} = \frac{J_0}{J_1} = 396$ соответственно для " γ -квантов" $K_\gamma = \frac{J_0}{J_2} = 806$.

Таким образом, необходимые соотношения для амплитуд выполняются. Амплитуда "быстрой" экспоненты на выходе генератора меняется линейно в диапазоне от 1 до 8 вольт. Линейное изменение амплитуды медленной экспоненты происходит в диапазоне от 2,5 до 20 мв - для "нейтронов" и от 1,3 до 10 мв - для " γ -квантов".

Для предотвращения "пролезания" "быстрой" части импульса в "медленный" канал необходимо хорошее разделение с помощью высокочастотных фильтров.

Для того, чтобы поделить сигнал в 800 раз, необходимо использовать последовательное деление, поскольку деление наносекундных сигналов на сопротивлениях выполнить невозможно из-за собственной емкости делителя.

Характеристики схемы

Схема настраивалась от генератора-имитатора таким образом, чтобы на выходе дискриминатора не регистрировались " γ -импульсы", но регистрировались "нейтронные импульсы". Было найдено, что дискрими-

нация " γ -квантов" осуществляется до значений амплитуд входных импульсов 8 вольт. Для импульсов с большими амплитудами на выходе дискриминатора появляются импульсы, которые запускают формирователь вых. " п ". В то же время "нейтронные импульсы" регистрируются на вых. " п " лишь при значениях амплитуд входных импульсов больше 1 вольта. Величины амплитуд входных импульсов 1 вольт и 8 вольт определяют соответственно верхнюю и нижнюю границу амплитудного диапазона схемы.

Схема используется в системе регистрации нейтронов, в которой детекторами служат сцинтилляционные счетчики с кристаллами стибьбена. Регистрация нейтронов осуществляется по протонам отдачи, энергетический спектр которых при регистрации моноэнергетических нейтронов имеет, как известно, прямоугольную форму (до значений энергий нейтронов $E_n = 14$ Мэв). В этих условиях нижняя граница амплитудного диапазона схемы отвечает пороговому значению (В) энергии протонов отдачи, а верхняя граница соответствует максимальной энергии нейтрона, регистрируемой в диапазоне дискриминации γ -квантов. Значения пороговой энергии и максимальной энергии нейтрона определяются, очевидно, напряжением питания ФЭУ.

Наличие энергетического порога приводит к уменьшению эффективности регистрации (ξ) нейтронов. Относительное уменьшение эффективности регистрации моноэнергетических нейтронов с энергией E_n можно записать в виде:

$$\frac{\Delta \xi}{\xi} = \frac{B}{E_n} \quad (3)$$

Если напряжение питания ФЭУ такое, что верхняя граница амплитудного диапазона (8в) соответствует энергии нейтрона 5 Мэв, то нижняя граница амплитудного диапазона (1в) будет соответствовать энергетическому порогу 1,3 Мэв и потеря в эффективности будет равна 26%. При регистрации нейтронов с энергией 14 Мэв порог составит 3,2 Мэв, а потеря в эффективности 23%. В этих оценках использовались известные данные^{/1/} о зависимости световых выхода в кристалле стиблена от энергии протона.

С целью проверки работы схемы от импульсов с выхода сцинтилляционного счетчика были проведены измерения числа импульсов (с вых. "а") и амплитудных спектров от γ -источников ^{137}Cs , ^{60}Co и моноэнергетических нейтронов с энергией 3 Мэв.

Счет числа импульсов и амплитудные спектры измерялись для двух режимов работы схемы: с дискриминацией и без дискриминации (введен разбаланс). При регистрации γ -квантов отношение числа импульсов (N_γ), измеренное в режиме работы схемы без дискриминации, к числу импульсов, измеренному в тех же условиях в режиме с дискриминацией ($N_\gamma^{\text{дискр}}$) определяет степень дискриминации (η) γ -квантов:

$$\eta = \frac{N_\gamma}{N_\gamma^{\text{дискр}}} \quad (4)$$

При регистрации нейтронов отношение скоростей счета числа импульсов, измеренных в двух режимах схемы, определяет потерю в эффективности регистрации нейтронов:

$$1 - \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} = \frac{N_n^{\text{дискр.}}}{N_n} \quad (5)$$

Очевидно, используя измеренное экспериментально отношение (5), можно с помощью выражения (3) определить "эффективный" энергетический порог для протонов отдачи, обусловленный амплитудным порогом схемы.

На рис.8 представлены зависимости измеренных таким образом степени дискриминации γ -квантов от ^{60}Co и энергетического порога в зависимости от напряжения питания ФЭУ. Для γ -квантов от ^{137}Cs степень дискриминации при тех же значениях напряжения на ФЭУ в несколько раз больше, чем для ^{60}Co . Это обстоятельство объясняется тем, что максимальные амплитуды импульсов от комптоновских электронов для ^{137}Cs меньше (примерно вдвое), чем для ^{60}Co . Некоторые из измеренных амплитудных распределений даны на рис.7+10. В табл. 1 приводятся условия измерения этих спектров. На рисунках сплошной линией обозначены спектры, измеренные в режиме работы схемы с дискриминацией, а штриховой - без дискриминации.

Таблица 1

Номер рисунка	Источник	Усиление анализатора (отн. ед.)	Напряжение питания ФЭУ (кв)
7	^{60}Co	1	2,3
8	Нейтроны E = 3 Мэв	1	2,3
9	"-	1	2,4
10	"-	2,5	2,2

Из рис.7+10 видно, что если дискриминация γ -квантов (точнее комптоновских электронов) осуществляется по всему спектру, то дискриминация протонов происходит лишь до некоторого порогового значения амплитуд импульсов. При изменении напряжения питания ФЭУ аппаратур-

ные спектры протонов отдачи деформируются, но положение порога не меняется. Абсолютное значение этого порога определяется с помощью калибровки анализатора и составляет 0,15 вольт, что соответствует амплитудам входных импульсов (1+1,2) вольт.

На рис.11 приводятся амплитудные распределения от нейтронов с энергией 14 Мэв. Эти спектры измерялись при пониженном напряжении питания ФЭУ для того, чтоб амплитуды импульсов находились в рабочем диапазоне схемы.

Загрузочные свойства схемы определяются постоянной интегрирования в быстром канале, которая составляет 100 мксек. При нагрузках $\approx 6.10^3$ из-за эффекта наложения должна уменьшаться степень дискриминации γ -квантов. Экспериментальная кривая зависимости степени дискриминации γ -квантов от загрузки приводится на рис.12.

Авторы пользуются случаем выразить свою признательность Ю.К.Акимову за полезные дискуссии.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.А.Егоров. Сцинтилляционный метод спектрометрии γ -излучения и быстрых нейтронов. Атомиздат, М., 1963.
2. E.Gatti, F. de Martini, Nuclear Electronics, Belgrade conf. proc., v. 2, 265, IAEA, Vienna (1962).
3. M.Forte, et al, Nuclear Electronics, Belgrade conf. prov., v.2, p. 277, IAEA, Vienna (1962).
4. J.P.Cretez et al, Nuclear Electronics, Belgrade conf. proc., v.2, p.287, IEAA, Vienna (1962).

5. L.J.de Vries, F.Udo. Nuclear Electronics, Belgrade conf. proc., v.2, p. 305, IAEA, Vienna (1962).
6. В Г Бровченко. Приборы и техн. эксперимента, №4, 49 (1961).
7. M.L.Roush et al. Nucl. Instrum. & Meth., 31, 112 (1964).
8. Gy Mathe, B.Schlenk. Nucl. Instrum. & Meth., 27, N1, 10 (1964).
9. В.И.Кухтевич. и др. Приборы и техн. эксперимента, №2,45 (1965).
10. W.Sch weimer. Nucl. Instrum. & Meth., 39, 343 (1966).
11. W.Schweimer.: Nucl. Instrum. & Meth., 39, 343 (1966).
12. B.Soucek, R.L.Chase, Nucl. Instrum. & Meth., 50, N1,76-76 (1967).
13. V.Tamm et al. Nucl. Instrum. & Meth., 48, N2, 301 (1967).
14. A.Tojo. Nucl. Instrum. & Meth., 50, N1, 38 (1967).
15. B.Sabbah, A.Suhani. Nucl. Instrum. & Meth., 58, N1,102-110 (1958).
16. F.A.Johson. Nucl. Instrum. & Meth., 58, N1, 134-142 (1968).
17. T. Hiramoto, N.Nohara. Nucl. Instrum. & Meth., 58, N1, 167-169 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел

20 мая 1968 года.

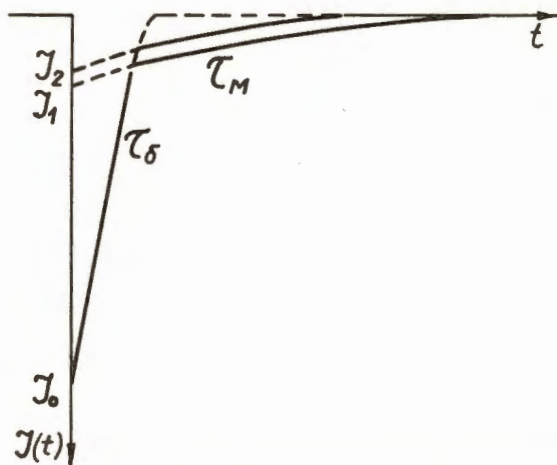


Рис.1. Форма импульса со сцинтилляционного счетчика при регистрации нейтронов и γ -квантов.

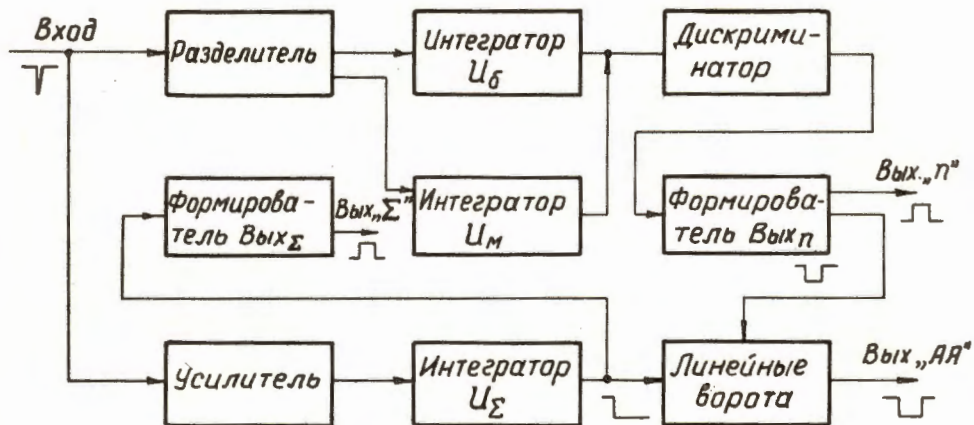


Рис.2. Блок-схема устройства разделения нейтронов от γ -квантов.

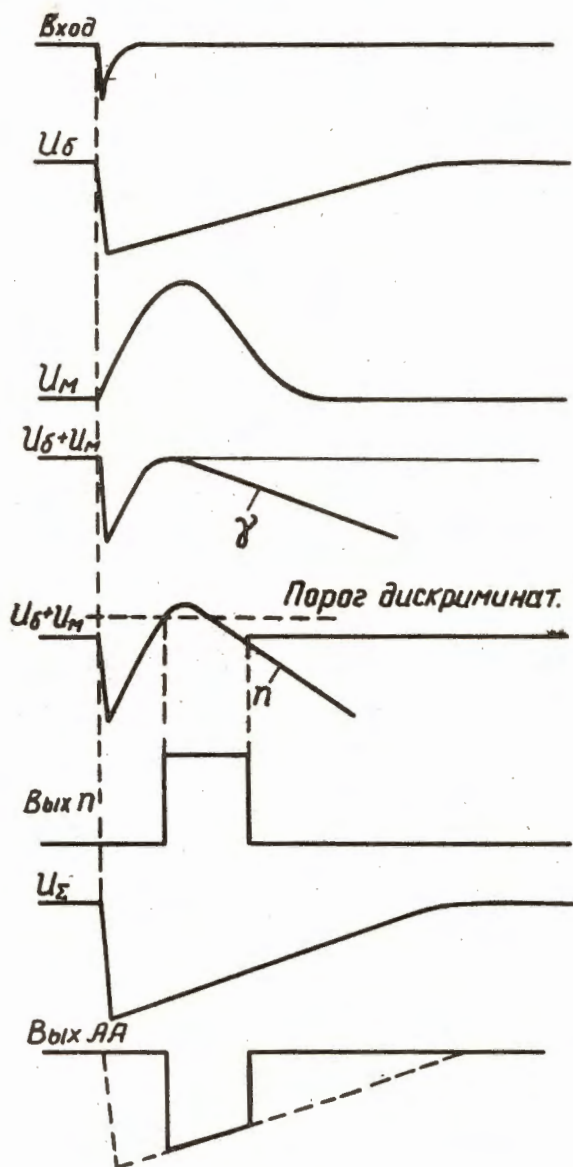


Рис.3. Диаграмма напряжений, поясняющая последовательность работы устройства разделения нейтронов от γ -квантов.

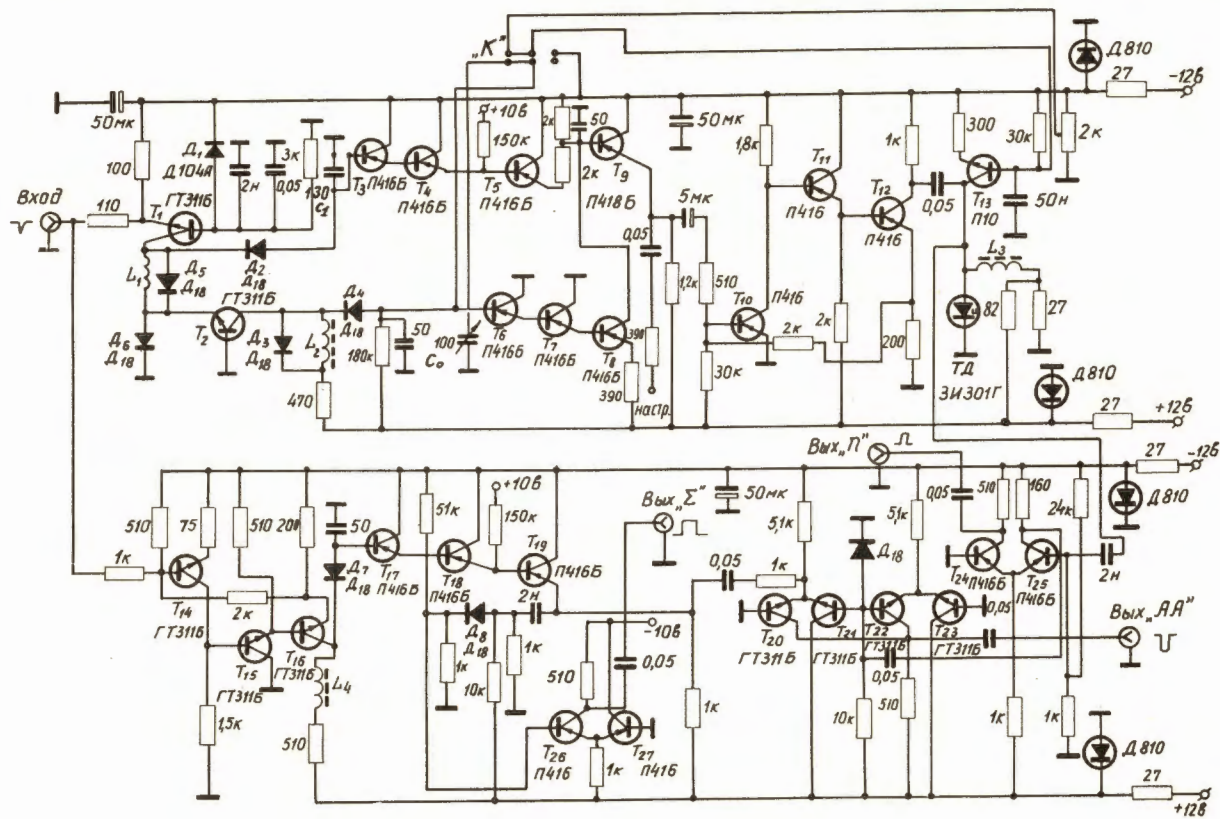


Рис.4. Принципиальная схема устройства дискриминации.

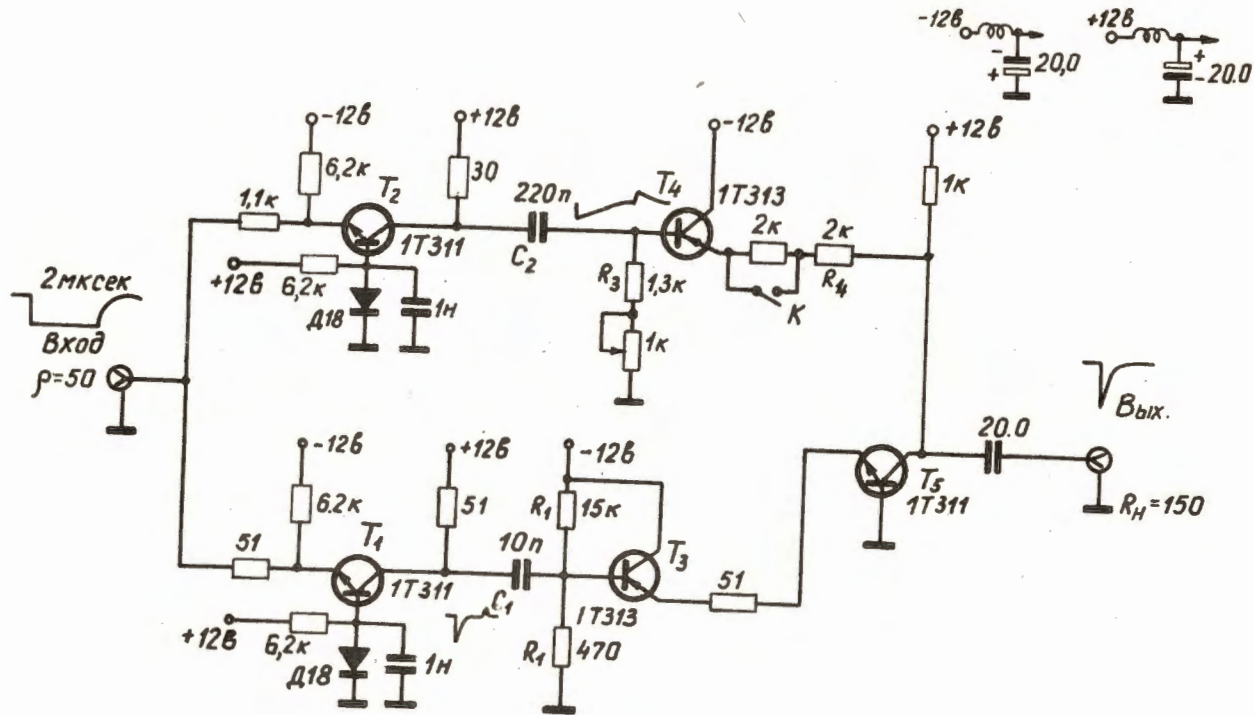


Рис.5. Принципиальная схема генератора-имитатора импульсов нейтронов и γ -квантов со сцинтилляционного счетчика.

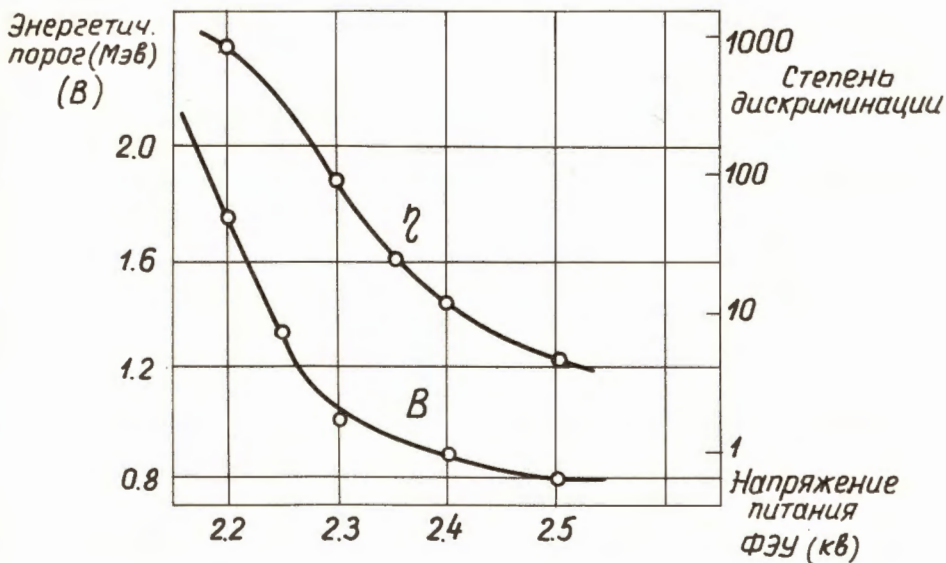


Рис.6. Зависимости степени дискриминации γ -квантов от ^{60}Co и энергетического порога от напряжения питания ФЭУ.

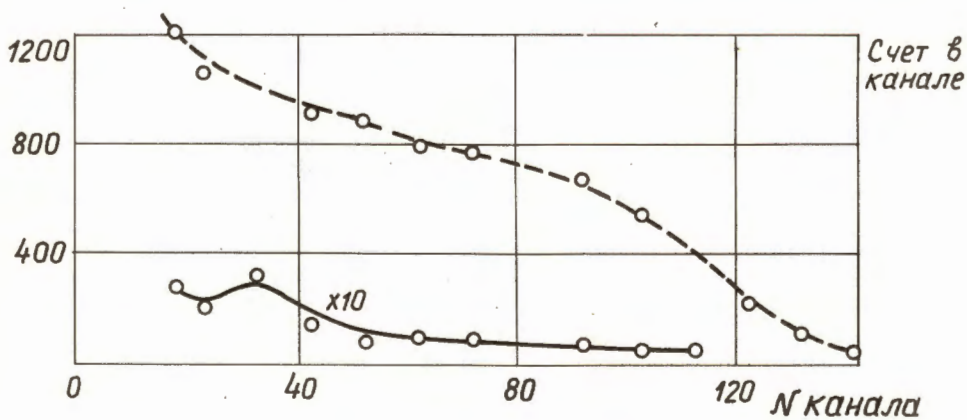


Рис.7. Амплитудный спектр γ -квантов от ^{60}Co с дискриминацией и без дискриминации при $V = 2,3$ кв.

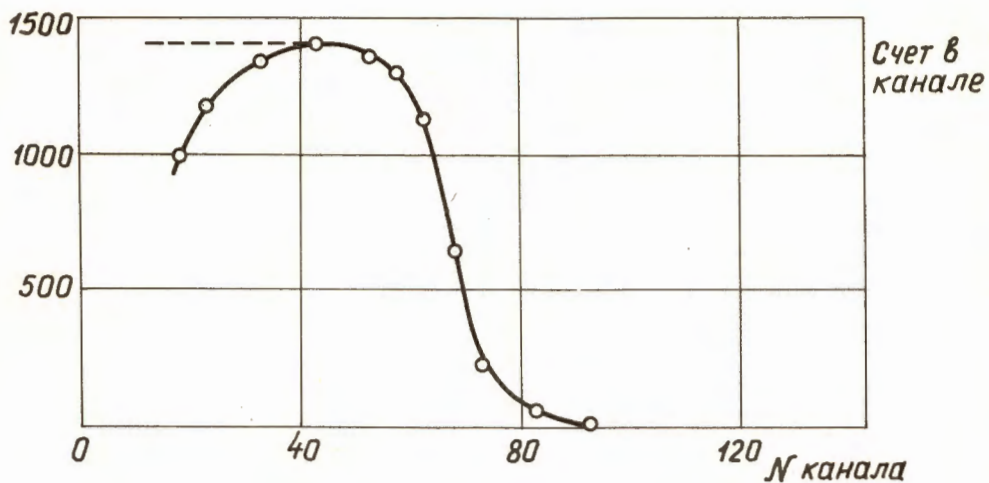


Рис.8. Амплитудный спектр протонов отдачи для $E_n = 3$ Мэв с дискриминацией и без дискриминации при $V = 2,3$ кв.

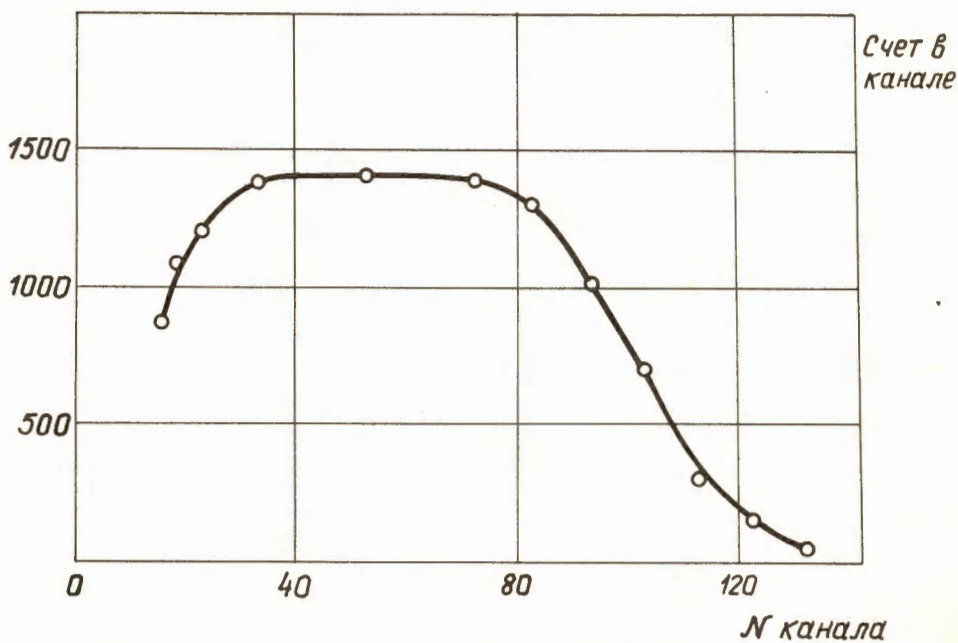


Рис.9. Амплитудный спектр протонов отдачи для $E_n = 3$ Мэв с дискриминацией при $V = 2,4$ кв.

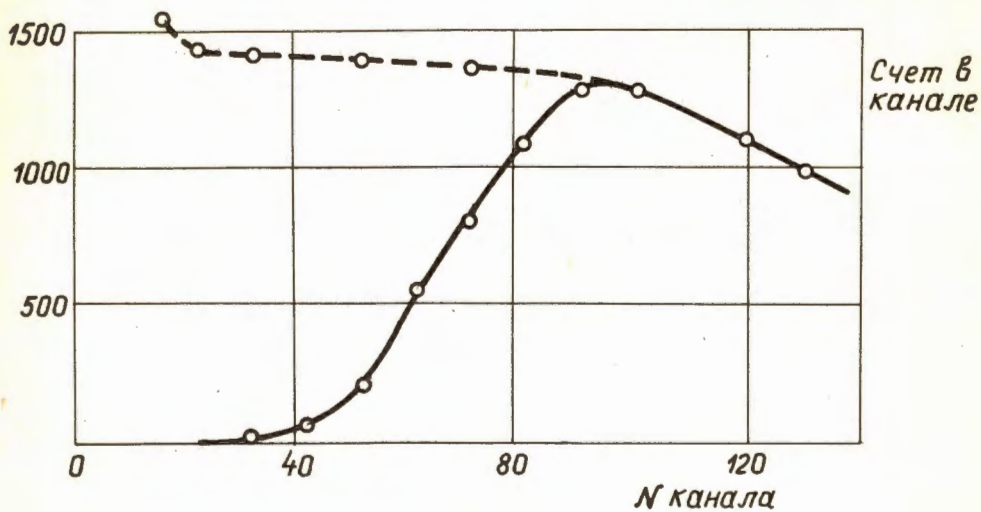


Рис.10. Амплитудный спектр протонов отдачи для $E_n = 3$ Мэв с дискриминацией и без дискриминации при $V = 2,2$ кв.

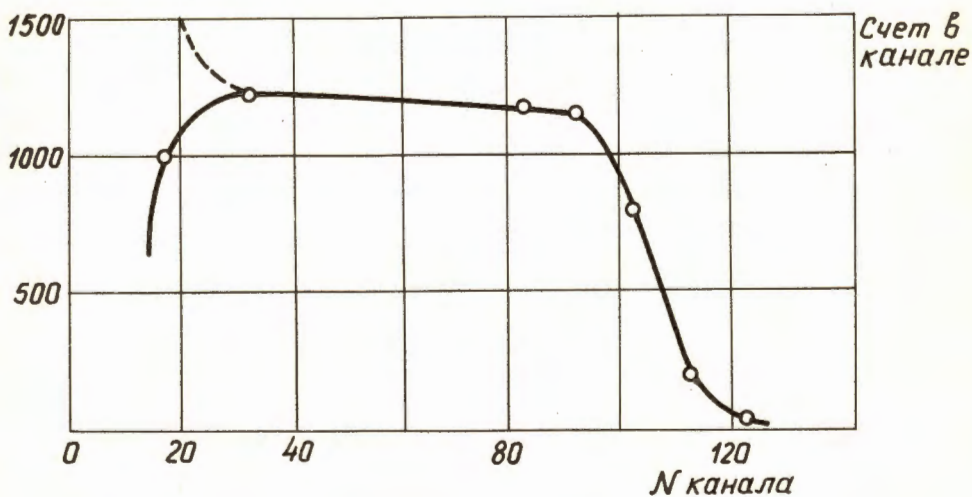


Рис.11. Амплитудный спектр протонов отдачи для $E_n = 14$ Мэв с дискриминацией и без дискриминации.

Степень
дискриминации
(η)

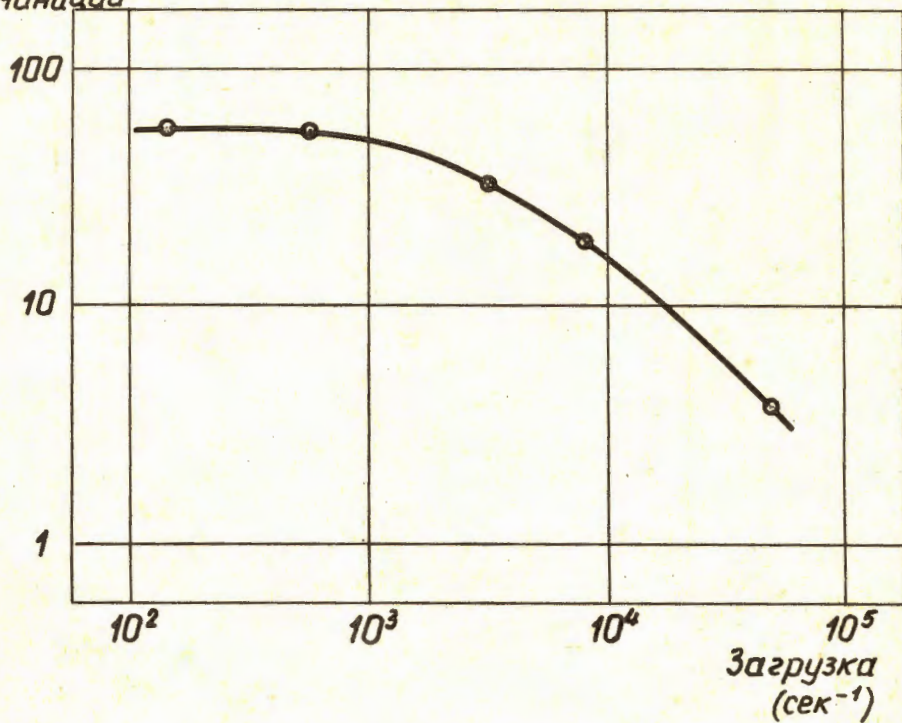


Рис.12. Кривая зависимости степени дискриминации η -квантов от загрузки.