

Д В Э

Г- 87У

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2724



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

К.Я. Громов, А.И. Калинин, В.В. Кузнецов,
Н.П. Ненов, Б.П. Осипенко, В.И. Фоминых

ГАММА-СПЕКТРОМЕТР НА
Ge (Li) - ДЕТЕКТОРЕ
И ИССЛЕДОВАНИЕ γ -СПЕКТРОВ

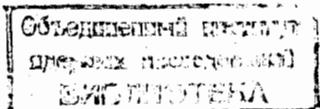
^{146}Gd , ^{151}Gd , ^{167}Tm

1966

4298/5 нр.

К.Я. Громов, А.И. Калинин, В.В. Кузнецов,
Н.П. Ненов, Б.П. Осипенко, В.И. Фомных

ГАММА-СПЕКТРОМЕТР НА
Ge (Li) - ДЕТЕКТОРЕ
И ИССЛЕДОВАНИЕ γ -СПЕКТРОВ
 ^{148}Gd , ^{151}Gd , ^{187}Tm



В последние годы, благодаря достигнутым успехам в изготовлении Ge-детекторов p-i-в структуры, широкое распространение получили полупроводниковые γ -спектрометры.

Несмотря на то, что Ge-детекторы имеют меньшую эффективность регистрации γ -излучения по сравнению с кристаллами NaJ(Tl), эти детекторы находят широкое применение при исследовании γ -спектров нестабильных изотопов, что обусловлено значительно более высоким энергетическим разрешением их по сравнению с кристаллами NaJ(Tl). Это обстоятельство делает полупроводниковый γ -спектрометр основным инструментом при изучении γ -спектров почти во всех физических лабораториях по исследованию структуры и свойств сложного ядра.

Данная работа посвящена краткому описанию γ -спектрометра с германиевым p-i-в детектором и исследованиям схем распада $^{151}\text{Gd} \rightarrow ^{151}\text{Eu}$, $^{148}\text{Gd} \rightarrow ^{148}\text{Eu}$ и $^{187}\text{Tm} \rightarrow ^{187}\text{Er}$, выполненным с помощью этого прибора.

На рис. 1 приведена блок-схема γ -спектрометра, состоящего из детекторного устройства, предусилителя, линейного усилителя, многоканального амплитудного анализатора, системы стабилизации и устройств для вывода информации.

Детекторное устройство состоит из Ge-детектора^{x/}, который в специальной оправке крепится к хладопроводу, прикрепленному к гнезду внутреннего сосуда металлического дьюара емкостью 15 литров.

К внешнему сосуду дьюара, против гнезда, к которому прикрепляется хладопровод, припаяна труба с фланцем; к последнему через фторопластовое уплотнение крепится дно из алюминиевой фольги толщиной 0,5 мм, выполняющее роль рабочего окна для облучения детектора. Труба снабжена проходным изолятором для вывода сигнала от детектора. Вакуум в системе после откачки воздуха и заливки жидкого азота составлял 10^{-5} мм рт.ст. Одной заливки азота в такой системе хватает для работы в течение 8 суток. Предусилитель через разъем подключается непосредственно к выводу проходного изолятора.

^{x/}Германиевый p-i-в детектор с чувствительным объемом $0,4 \text{ см}^3$ и толщиной чувствительного слоя 2,5 мм получен из Чехословакии.

Предусилитель

В зарядочувствительном предусилителе применена широко распространенная каскодная схема с динамической анодной нагрузкой^{/1/} (рис. 2). Коэффициент усиления первой секции без обратной связи равен 500. Суммарная входная емкость детектора и усилителя составляет 30 пф, таким образом, глубина обратной связи равна $500/30 = 16$, т.к. емкость обратной связи $C_0 = 1$ пф. Используя другие схемы зарядочувствительных усилителей^{/2,3/}, можно получить большее усиление и большую глубину обратной связи, однако в этих схемах труднее обеспечить устойчивость, т.к. в них обратной связью охватывается несколько интегрирующих звеньев.

Выбор схемы в основном определяется требованиями к стабильности усилителя, шумовые же свойства определяются главным образом входной лампой. Методика отбора ламп и выбор их режима описаны в работе^{/1/}. Для спектрометрических усилителей из отечественных ламп наиболее подходит лампа 6Ж8П, имеющая большую крутизну и относительно малую входную емкость. Согласно предложенной методике, отбор наилучшего экземпляра лампы производился непосредственно в зарядочувствительном предусилителе при использовании вольтметра типа ВЗ-19 со среднеквадратичной шкалой. Если этот вольтметр включен на выходе основного усилителя (после формирующих цепей), то его показания пропорциональны уровню шумов, приведенному ко входу усилителя, т.к. обратная связь первой секции устраняет влияние изменения параметров лампы $C_{вх}$, S и др. Эта методика верна в некоторых пределах, определяемых глубиной обратной связи. Отбор входной лампы производился по минимальному показанию вольтметра при анодном токе 8-8 ма. Как известно, лучшее отношение крутизны к сеточному току лампы получается в районе около "плавающего" потенциала на сетке, поэтому для отбора целесообразно лампы включать со "свободной сеткой". При этом в лампе автоматически устанавливается режим, близкий к оптимальному, и устраняется влияние сопротивления утечки. После выбора лампы припаивается сопротивление утечки и устанавливается прежнее значение анодного тока путем подбора катодного сопротивления.

Как правило, даже с большими сопротивлениями утечки шум больше, чем при "плавающем" потенциале, по-видимому, за счет паразитной емкости самого сопротивления. Исходя из этого, надо выбирать сопротивления малогабаритные. Кроме того, большую паразитную емкость имеют переходные конденсаторы, поэтому не следует увлекаться малыми размерами предусилителя, излишней экранировкой входного каскада. Для уменьшения входной емкости соединение между усилителем и камерой-дыжаром осуществляется непосредственно через разъем.

Можно работать и без сопротивления утечки или при очень больших сопротивлениях (порядка десятков Гом), однако при этом возникают следующие трудности:

1. В момент подачи на детектор отрицательного напряжения лампа закрывается и в некоторых случаях находится в запертом состоянии очень долго.

2. Режим лампы со "свободной" сеткой менее стабилен, т.к. напряжение смещения при этом определяется разностью двух компонент сеточного тока и может изменяться при изменении любой из этих компонент.

В данном усилителе применялись сопротивления утечки от 1 до 5 Гом.

В качестве основного усилителя использовался УИС-2 с небольшим изменением.

В усилителе предусмотрено два типа формирования:

- 1) однократное RC - интегрирование и однократное RC - дифференцирование.
- 2) однократное RC - интегрирование и двукратное дифференцирование на линии задержки с $2T_{зад} = 5$ мксек.

Второй тип формирования дает худшее разрешение при малой скорости счета, но позволяет работать при высоких нагрузках, т.к. выходной импульс имеет биполярную форму. Шум усилителя при внешней емкости 18 пф, равной емкости детектора и камеры, и при $RC_{н} = RC_{д} = 1$ мксек равен 2,7 кэв, при втором типе формирования - около 3,2 кэв.

С выхода линейного усилителя импульсы подаются на многоканальный анализатор АИ-258-1. Несмотря на наличие цепей отрицательных обратных связей, коэффициент усиления и порог дискриминации заметно зависят от колебаний температуры, напряжения сети, от загрузки и других факторов. Вследствие этого необходима стабилизация всего тракта.

Цифровая система стабилизации электронного тракта у-спектрометра

Система стабилизации осуществляет стабилизацию коэффициента усиления, тракта, что также приводит к тому, что влияние изменения порога дискриминации уменьшается. Для иллюстрации этого положения на рис.3 приведены спектры $^{203}\text{Hg} + ^{137}\text{Cs} + ^{22}\text{Na}$ (кривые 1,2) без стабилизации с изменением порога дискриминации; кривая 3 представляет тот же спектр со стабилизацией коэффициента усиления по фотопиксу $E = 511$ кэв при тех же изменениях порога дискриминации в процессе снятия спектра.

В качестве опорных импульсов можно использовать импульсы от генератора стабильной амплитуды или же импульсы одного из фотопиков у-спектра исследуемого препарата. В первом случае система стабилизации не учитывает нестабильность, обусловленную детектором. Нами наблюдалось, что стабильность, получаемая с помощью опорных импульсов от фотопиков у-спектра, лучше, чем от генераторного импульса.

При эксплуатации γ -спектрометра генератор практически не применялся, т.к. всегда имелась возможность использования в качестве опорных - импульсов фотошквов исследуемых препаратов.

Рассмотрим работу цифровой системы стабилизации.

а) Блок-схема цифровой системы стабилизации (см.рис. 4)

Импульсы с детектора через предусилитель поступают на вход линейного усилителя, коэффициент усиления которого можно менять, например с помощью термосопротивления, включенного в анодную цепь лампы. Сигналы с линейного усилителя, преобразуются блоком амплитудного преобразователя в код числа, соответствующего амплитуде исследуемого импульса. Число в закодированном виде поступает на дешифраторы запоминающего устройства, позволяющие выбрать соответствующую числовую линейку.

Импульсы с дешифраторов поступают на входы адресных ключей, которые производят выборку числа соответствующей линейки и после увеличения числа на 1 -запись в прежнюю линейку.

Предположим, что в спектре исследуемого препарата (например, ^{208}Hg) γ -кванты, соответствующие энергии 278 кэв, регистрируются спектрометром в 100 канале. Нетрудно убедиться в том, что появление таких γ -квантов приводит к одновременно возникновению сигналов на 6 шине дешифратора старших разрядов и на 3 шине дешифратора младших разрядов. Подадим импульсы с шин дешифратора, как это показано на рис. 4, через эмиттерные повторители на входы ключей K_1 ; K_2 ; K_3 . При этом появление импульсов на выходе ключа K_3 будет соответствовать регистрации импульсов в каналах 101-103; на выходе ключа K_2 - регистрации в 100 канале и на выходе ключа K_1 - регистрации в каналах 97-99. Импульсы с выхода ключей K_1 ; K_2 ; K_3 после формирования по амплитуде и длительности поступают на соответствующие входы триггеров T_1 и T_2 . При этом, если импульсы поступают в 100 канал, триггер T_1 устанавливается в положение 1, триггер T_2 - в положение 0, как это показано на временной диаграмме работы γ -спектрометра с системой стабилизации (рис. 5).

Напряжения, снимаемые с плеч обоих триггеров, подаются через эмиттерные повторители на вход усилителя мощности, который выдает ток $I_{\text{ном}}$ в обмотку подогрева термосопротивления, устанавливая температуру корпуса термосопротивления, равную $T_{\text{ном}}^{\circ}$. Полученной при этом величине сопротивления $R_{\text{ном}}$ соответствует номинальное значение коэффициента усиления тракта $K_{\text{ном}}$.

Если импульсы спектра, соответствующие γ -квантам с энергией 278 кэв, начинают регистрироваться в 98 канале, то очевидно, в аппаратуре произошли изменения (например, уменьшился коэффициент усиления тракта), что внесет соответствующие иска-

жения при регистрации всего спектра. Рассмотрим работу системы стабилизации в этом случае. Соответствующие 98 каналу импульсы с дешифратора вызовут появление импульсов на выходе ключа K_1 и установят триггеры T_1 и T_2 в положение 0, что соответствует току I_{min} в обмотке подогрева термосопротивления. При этом температура корпуса термосопротивления понижается и величина его сопротивления увеличивается, что приводит к увеличению общего коэффициента усиления всего тракта. Охлаждение сопротивления будет продолжаться до тех пор, пока триггеры T_1 и T_2 не установятся в исходное состояние, как было описано выше, т.е. импульсы, соответствующие энергии γ -квантов 278 кэв, будут поступать опять в 100 канал. Аналогичные рассуждения можно провести и для случая увеличения коэффициента усиления тракта. В случаях,

когда опорные импульсы регистрируются не более чем в 2-3 каналах, представляется целесообразным устанавливать значение тока $I_{\text{ном}}$ равным одному из значений токов I_{min} или I_{max} . При этом исключается зона нечувствительности системы, равная ширине одного канала. В других случаях эта мера, по-видимому, не даст сколько-нибудь заметных преимуществ. Из возможных исполнительных элементов, способных автоматически изменять коэффициент усиления тракта (например: активное сопротивление, величина которого меняется механическим путем; конденсаторы, изменяющие емкость при изменении напряжения на них; устройства, преобразующие напряжение рассогласования в напряжение смещения на сетке какой-либо лампы усилителя, термистеры и др.) выбор был остановлен на термистерах - переменных полупроводниковых сопротивлениях без скользящего контакта, - значение сопротивления которых может меняться с помощью косвенного подогрева.

Исследования проводились на сопротивлениях типа ММТ-1, КМТ-4 с номинальными значениями от 1 до 30 ком. На рис. 6 приведена зависимость $R = f(T^{\circ})$ для сопротивления ММТ-1-5,1 ком. В качестве обмотки подогрева использовался провод ПЭШОК-0,1 с общим сопротивлением 100 ом. Обмотка подогрева изолирована от корпуса термистера стеклянной лентой.

При максимальном рабочем токе подогрева 100 ма температура корпуса термистера составляет 120°C . На рис. 6 приведена зависимость $R = f(I_{\text{а}})$. Рабочие значения тока подогрева выбирались в пределах 20 - 80 ма.

При выборе места установки термистера в цепи тракта спектрометра приходилось руководствоваться следующими положениями, выясненными в результате исследований: нельзя устанавливать сопротивление в первых каскадах тракта, т.к. термистер приводит к значительно большему уровню шумов, нежели постоянные сопротивления типа МТ, МЛТ и т.д.; нецелесообразна установка термистера в последних каскадах тракта, где мощность, выделяемая на сопротивлении при передаче выходных сигналов, значительна и может влиять на его температурный режим, вызывая тем самым ненужное изменение коэффициента усиления тракта.

В качестве оптимального места для установки термосопротивления было выбрано сопротивление R_{71} с номинальным значением 910 ом в схеме линейного усилителя типа УИС-2. Для дальнейшего уменьшения влияния указанных выше факторов термистер с номинальным значением в холодном состоянии - 5,1 ком был включен параллельно с сопротивлением $MT-1,2$ ком. Величина постоянной времени τ равнялась 8 сек.

На рис. 7 приведен график изменения коэффициента усиления тракта при изменении тока подогрева от 20 до 80 ма. Измерения проводились на препарате ^{208}Hg посредством замера положения фотопика, соответствующего энергии γ -квантов 279 кэв. Для определения линейности тракта были сняты спектры препаратов ^{208}Hg , ^{22}Na , ^{137}Cs при различных токах подогрева (рис. 8).

В результате проведенного расчета пределов устойчивой работы системы стабилизации, данные которого хорошо согласуются с практическими, были определены условия, при которых система обладает достаточной устойчивостью:

1. Частота опорных импульсов должна быть не менее 0,3 гц.
2. Предельно допустимая скорость изменения коэффициента усиления или порога дискриминации тракта не должна превышать 1 канала/сек. При этом через интервалы 20 сек допускаются мгновенные изменения не более чем на ± 3 канала.
3. Предельно допустимые изменения коэффициента усиления или порога дискриминации за весь период непрерывной работы γ -спектрометра не должны превышать $\pm 15\%$.

б) Описание принципиальной схемы цифровой системы стабилизации

Принципиальная схема системы стабилизации приведена на рис. 8. Импульсы, определяющие номер канала, снимаются с эмиттерных сопротивлений адресных ключей анализатора АИ-256 -1 (импульсы имеют следующие параметры: $U = 0,4$ в; $\tau = 3,5$ мксек) и поступают на вход сложных ключей, собранных на триодах ПТ1 ÷ ПТ8 типа П16. При этом на вход триодов ПТ1 ÷ ПТ7 поступают импульсы младших разрядов кода числа. На вход триода ПТ8 по шине А поступают импульсы со старших разрядов кода числа. Положение шины А может изменяться в пределах от 0 до 15, чем достигается возможность грубой настройки (через 16 каналов) системы стабилизации к любому участку спектра.

Выходы ключей объединены в 3 группы, соответствующие номинальному и крайним значениям возможных положений опорных импульсов. Три каскада, собранные на триодах ПТ9 ÷ ПТ11 типа П403, формируют выходные импульсы по амплитуде и дли-

тельности до значений, достаточных для надежного запуска триггеров T_1 и T_2 . Триггеры T_1 и T_2 , собранные на триодах ПТ12 ÷ ПТ15 типа П16Б, обеспечивают нормальную работу при частоте следования запускающих импульсов ≤ 100 кГц. С помощью делителей напряжений на сопротивлениях R_{29} ; R_{41} и R_{38} ; R_{40} достигается возможность подачи напряжений с плеч триггеров через эмиттерные повторители, собранные на триодах ПТ16÷ПТ18, на вход усилителя мощности, выполненного на триоде ПТ19 типа П4Д. При этом, с помощью потенциометров, находящихся в цепях делителей, задается необходимый режим работы термосопротивления. Потенциометром R_{44} задается минимальное значение тока подогрева (при этом оба триггера устанавливаются в положение 0); потенциометром R_{41} - номинальное значение тока подогрева (триггер T_1 устанавливается в положение 1, триггер T_2 - в положение 0) и потенциометром R_{40} - максимальное значение тока подогрева (триггер T_1 при этом находится в положении 0, триггер T_2 - в положении 1).

Переключателем П1 обеспечивается переход от режима без стабилизации к режиму со стабилизацией. При верхнем положении переключателя П1 ток в обмотке подогрева задается триодом ПТ19. Сопротивления R_{48} ; R_{44} обеспечивают в цепи балластного сопротивления R_{48} ток, равный выбранному номинальному значению тока подогрева. При этом величина сопротивления R_{48} подбирается равной сопротивлению обмотки подогрева. Данное положение переключателя П1 соответствует режиму работы спектрометра со стабилизацией. При нижнем положении переключателя П1 в цепи обмотки подогрева течет постоянный ток, равный номинальному значению, обусловленный сопротивлениями R_{48} ; R_{44} , а ток стабилизации с триода ПТ19 течет через балластное сопротивление R_{48} . При этом, естественно, отсутствует стабилизация тракта. Переключатель П2 позволяет измерять токи в обеих цепях, не нарушая их токовых режимов, что достигается подбором сопротивления R_{48} , равным сопротивлению измерительного прибора.

Как указывалось выше, грубая настройка системы стабилизации по выбранному фотопику производится с помощью изменения положения шины А. Плавная настройка с точностью до канала обеспечивается плавным изменением сопротивлений R_{48} , R_{44} , R_{40} , R_{41} , что приводит к соответствующим смещениям рабочей точки термосопротивления посредством изменения рабочих токов подогрева.

Для иллюстрации эффективности описанной системы стабилизации γ -спектрометра на рис. 10 приведены спектры ^{189}Yb , измеренные в одинаковых условиях в течение 1 часа с применением стабилизации и без стабилизации. Как видно из рисунка, применение системы стабилизации значительно улучшает разрешение спектрометра.

Из работ по стабилизации спектрометрических электронных трактов следует указать систему стабилизации амплитудного кодировщика на 4096 каналов, выполненную в ЛНФ^{12/}. Эта система обеспечивает стабилизацию порога дискриминации и коэффициента усиления по 2 реперным импульсам. Учитывая сравнительно большую сложность этой

системы, не представлялось целесообразным использование ее для стабилизации тракта с числом каналов, равным 256.

Перед началом измерений путем многократного снятия спектров препарата ^{203}Hg была получена зависимость энергетического разрешения от напряжения смещения на детекторе.

На рис. 11 сплошной линией показана зависимость $R = f(U_0)$, полученная после обработки спектров ^{203}Hg , пунктирной линией показана зависимость уровня шумов на выходе линейного усилителя, измеренного с помощью катодного вольтметра со средне-квадратичной шкалой. Обе кривые имеют аналогичную зависимость, от U_0 поэтому в дальнейшем в процессе эксплуатации γ -спектрометра оптимальное напряжение смещения на детекторе проверялось по уровню шумов на выходе линейного усилителя. Для определения зависимости эффективности регистрации γ -излучения $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором от энергии γ -лучей был снят спектр ^{169}Yb . По известным интенсивностям γ -лучей ^{169}Yb была рассчитана зависимость $\sigma = f(E)$, приведенная на рис. 13.

Ниже приводятся результаты исследований, проведенных на описанном γ -спектрометре. Необходимо отметить, что при выполнении этих исследований всегда использовалась система стабилизации. Время непрерывного набора статистики колебалось от 3 до 40 часов.

Исследование распада ^{151}Gd

Для исследования γ -спектра ^{151}Gd мы использовали препарат гадолиния, полученный следующим образом. Из препарата Tв, выделенного из танталовой мишени, облученной протонами с энергией 660 Мэв, был выделен гадолиний, образовавшийся при β -распаде изотопов тербия. Так как время между облучением и первоначальным выделением тербия и выделением дочернего гадолиния было более полугодом, в полученном таким образом препарате гадолиния содержались только ^{151}Gd и ^{153}Gd . Гамма-спектр этого препарата показан на рис. 14 и 15. Гамма-спектр ^{153}Gd изучен в работе /4/, и это позволило нам выделить γ -линии, принадлежащие ^{151}Gd .

В таблице 1 проведено сравнение наших результатов с данными работ /8/, выполненных ранее.

Как видно из таблицы, наблюдается хорошее согласие для большинства интенсивностей γ -лучей. Расхождение наблюдается для слабых переходов с энергией 350 и 195 кэв.

Т а б л и ц а 1
Относительные интенсивности γ -лучей при распаде ^{151}Gd

Энергия перехода E (кэв)	Интенсивность I_γ (данная работа)	Интенсивность I_γ /6/ (работа)
153,7	2300	1800
175	1000	1000
195	15	95
243,8	1840	1820
260	20	-
287	31	-
308	350	380
330	28	-
351	35	98

Для анализа полученных данных мы использовали результаты исследования спектра конверсионных электронов ^{151}Gd , полученные одним из авторов - В.В. Кузнецовым - в Институте теоретической физики им. Нильса Бора в Копенгагене. В этих исследованиях был использован моноизотопный источник ^{151}Gd , очищенный на масс-сепараторе. Для изучения спектра конверсионных электронов использован шестизазорный бета-спектрометр типа "апельсин" (разрешение - 0,5%, светосила - 1%). Результаты этих исследований представлены в таблице 2. Сравнивая интенсивности γ -лучей и конверсионных электронов и принимая, что переход с энергией 175 кэв - типа $M2^{5/2}$, мы подсчитали значения коэффициентов внутренней конверсии α для ряда γ -переходов. Сравнение их с теоретическими значениями коэффициентов внутренней конверсии позволило определить мультипольность этих переходов (таблица 3).

Таким образом, в этих исследованиях обнаружены новые γ -переходы с энергиями 102,5; 260; 287; 330 кэв, впервые определены мультипольности γ -переходов с энергиями 260 ($M1$) и 287 кэв ($E2$), ($M1$). Определенные в этой работе мультипольности переходов 153,7; 243,8 и 308 кэв совпадают с результатами более ранних работ /5,6/.

На основании анализа результатов наших исследований и работ /5,6/ предлагается схема распада $^{151}\text{Gd} \rightarrow ^{151}\text{Eu}$ (рис. 16). Нами вводится уровень с энергией 308 кэв, а переход с энергией 330 кэв размещен между уровнем 351 кэв ($9/2^+$) и уровнем 22 кэв ($7/2^+$).

Таблица 2

Относительные интенсивности конверсионных линий при распаде ^{161}Gd

Энергия перехода E (кэВ).	Конверсионная линия	Интенсивность конверсионных электронов I_k
21,7	L	3200
	M	2030
	N	665
102,5 108	K	17,4
	K	24,6
153,7	L	588
	M	69,2
175	K	21,1
	L	1000
	M	188
243,8	K	82
	L + K 287	20,3 4,30
260	K	1,0
	L	0,20
287	L	0,50
	M	0,25
308	K	10,8
	L	0,50
	M	0,25

Таблица 3

Сравнение экспериментальных и теоретических коэффициентов конверсии и определение мультипольности переходов в ^{151}Eu

Энергия перехода E (кэВ)	Конв. лин.	I_k	I_γ	α (эксп.)	E1	α теор.			Мультипольн.	
						M1	E2	M2		E3
153,7	K	588	2300	0,53	0,075	0,48	0,34	2,9	1,3	M1+E2
175	K	1000	1000	2,3	0,050	0,32	0,23	2,3	0,90	M2
243,8	K	20,3	1840	0,022	0,02	0,14	0,09	0,61	0,3	E1
260	K	0,87	20	0,12	0,018	0,1	0,07	0,4	0,2	(M1);
287	L	0,49	31	0,036	0,0017	0,019	0,014	0,007	0,1	(M1)(E2)
308	K	10,8	350	0,090	0,012	0,078	0,039	0,3	0,11	M1

Исследования распада ^{146}Gd

Распад ^{146}Gd изучался в ряде работ /8,9/. Было установлено, что при распаде ^{146}Gd возникает три интенсивных γ -перехода с энергиями 114,75; 115,57 и 154,70 кэВ /8/ и возможно несколько очень слабых γ -переходов. Все три указанных γ -перехода хорошо совпадают между собой, т.е. находятся в каскаде. Однако последовательность, в которой возникают эти γ -переходы не была установлена. Сведения о том, в какой последовательности они идут, могут быть получены при измерении относительных интенсивностей указанных γ -переходов. Авотина и др. /8/ выполнили тщательные измерения спектра конверсионных электронов ^{146}Gd и показали, что все три γ -перехода имеют мультипольности M1. Тот же результат был получен ранее в работе Хринкевича и др. /9/ при изучении угловых γ - γ -корреляций. Авотина и др. /8/ показали, что интенсивности K-конверсионных линий переходов 114,75 и 115,57 кэВ в пределах экспериментальных ошибок равны. Это значит, что на основании данных об интенсивностях этих переходов нельзя сказать, в какой последовательности они возникают. Представляет интерес получить данные об относительных интенсивностях перехода 154,7 кэВ и переходов 114,75 и 115,57 кэВ. С этой целью мы измеряли γ -спектр ^{146}Gd с помощью полупроводникового Ge(Li)- γ -спектрометра (рис. 17). Полученные данные об интенсивностях γ -переходов представлены в таблице 4.

Используя теоретические значения коэффициентов внутренней конверсии для переходов типа M1, мы подсчитали относительные интенсивности γ -переходов 114,75; 115,57 и 154,70 кэВ.

Таблица 4

Относительная интенсивность γ -переходов при распаде ^{146}Eu

Энергия лучей (кэВ)	Относительная интенсивность γ -лучей	(M1) α_k	Интенсивность линий внутренней конверсии	Интенсивности γ -переходов
114,75	100	1,1	130	115
115,57				115
154,70	40 + 5	0,47	23	83 + 8

Они равны 115: 115:(83 + 8) соответственно. При этом принято, согласно /8/, что интенсивности переходов 114,75 и 115,57 кэВ равны. Таким образом, несомненно, что переход 154,70 кэВ лежит в схеме уровней ^{146}Eu выше переходов 114,75 и 115,57 кэВ. Поскольку Авотина и др. /8/ обнаружили слабый γ -переход с энергией 260,5 кэВ, энергия которого точно равна сумме энергий переходов 114,75 и 154,70 кэВ, можно

предположить, что рассматриваемые переходы идут в следующей последовательности: 154,70; 114,75 и 115,57 кэв (рис. 18).

Спектр γ -лучей ^{167}Tl

В работе /11/ были замечены слабые переходы с энергией 287 и 325 кэв. Нами был измерен спектр γ -лучей ^{167}Tl в течение 24 часов (рис. 18,20). Указанные переходы не были обнаружены. Интенсивности переходов с энергией 208 кэв и 532 кэв согласуются с данными ранее опубликованных работ /10,11/ (см. табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Относительная интенсивность γ -лучей при распаде ^{167}Tl

Энергия γ -лучей	Относительная интенсивность
208	2320 + 90
532	100

В заключение авторы выражают благодарность Я.Я. Урбанец, Е. Гудновой за ценные советы и помощь в конструировании детекторного устройства, Н.А. Лебедеву за приготовление препаратов, А.Н. Синаеву за полезные дискуссии по системе стабилизации, а также В.Е. Савину, А.Е. Банифатову, Е.Т. Кондрату за монтаж и помощь в настройке аппаратуры.

Л и т е р а т у р а

1. А.И. Калинин, В.Д. Шейко. Некоторые вопросы конструирования малошумящих усилителей для β - γ -спектрометров с полупроводниковыми детекторами. Препринт ОИЯИ, 2357, Дубна, 1965.
2. G.Hahn, K.O. Mayer. IRE Trans on Nucl. Sci. V.NS-9, N=4, p.20 (1962).
3. A.I.Tavendale. IEE Trans on Nucl. Sci. 42, Nov. (1964).
4. G.T.Evan and A.J.Tavendale, Can. Journ. of Phys. 42, Nov. (1964).
5. Н.А. Антонова, А.А. Башилов, Б.С. Джелепов и Б.К. Преображенский. Изв. АН СССР, сер. физ., 22, 135 (1958).
6. E.Steichele and P.Kienle. Zeit. of Phys. 175, 405-415 (1963).
7. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. Схемы распада радиоактивных ядер. Москва - Ленинград, 1963.

8. М.П. Авотина, Е.П. Григорьев, А.В. Золотавин, Н.А. Лебедев, В.О. Сергеев, В.Е. Тер-Нерсесянц. Препринт ОИЯИ, 2273, Дубна, 1965.

9. Хриджиевич и др. Акта физика полоника, 24, 3 (1963).

10. К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, В. Звольска, И. Звольский, Н.А. Лебедев, Я. Урбанец. Изв. АН СССР (сер. физ.), 26, 1018 (1962).

11. L.Funke, H.Graber, K.HKaupp, H.Sodan and L.Werner. Nucl. Phys., 64, N=3 (1965).

12. В.И. Приходько, В.Г. Тишин. Амплитудный кодировщик на 4.096 каналов. Препринт ОИЯИ, 2492, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 апреля 1966 г.

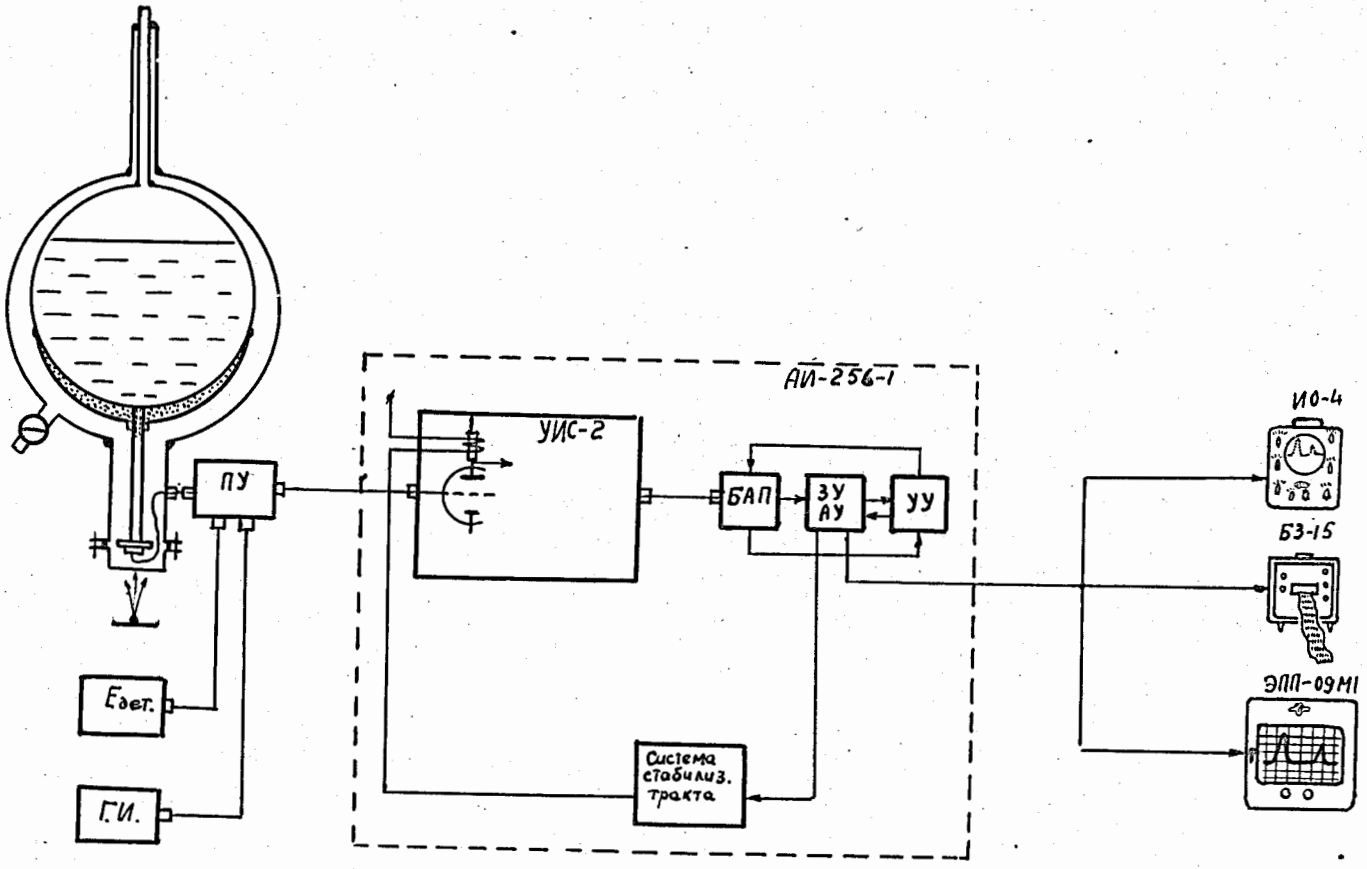


Рис. 1. Блок-схема амплитудного у-спектрометра с полупроводниковым Ge(Li)-детектором.

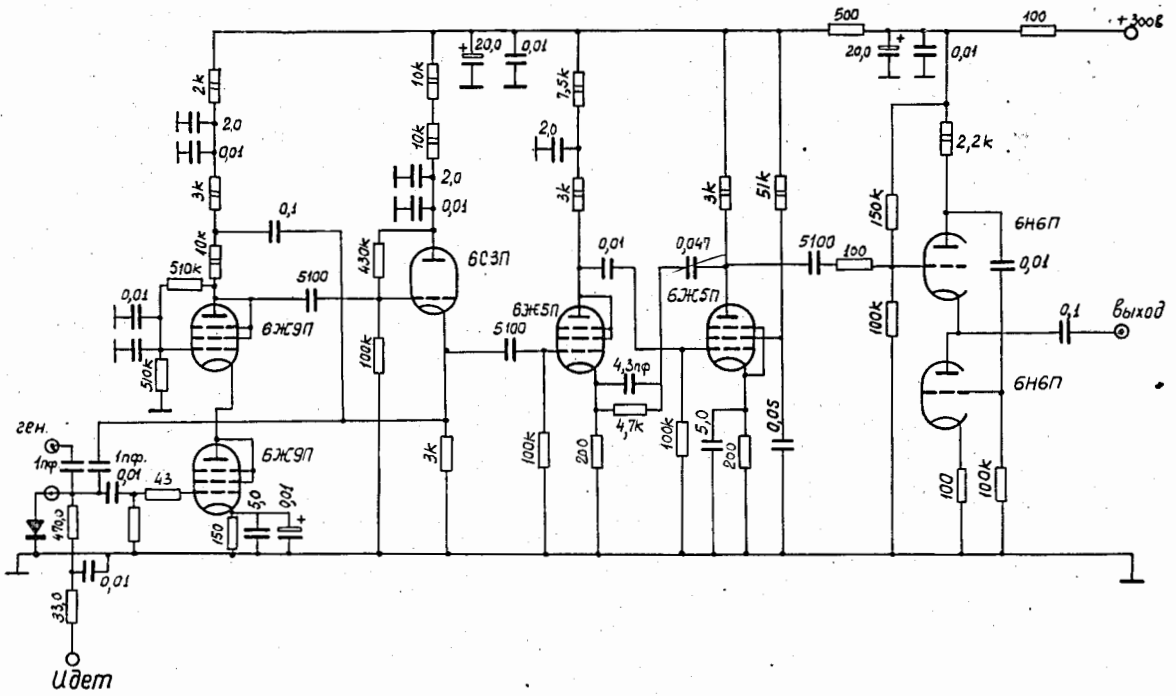


Рис. 2. Принципиальная схема зарядного предусилителя.

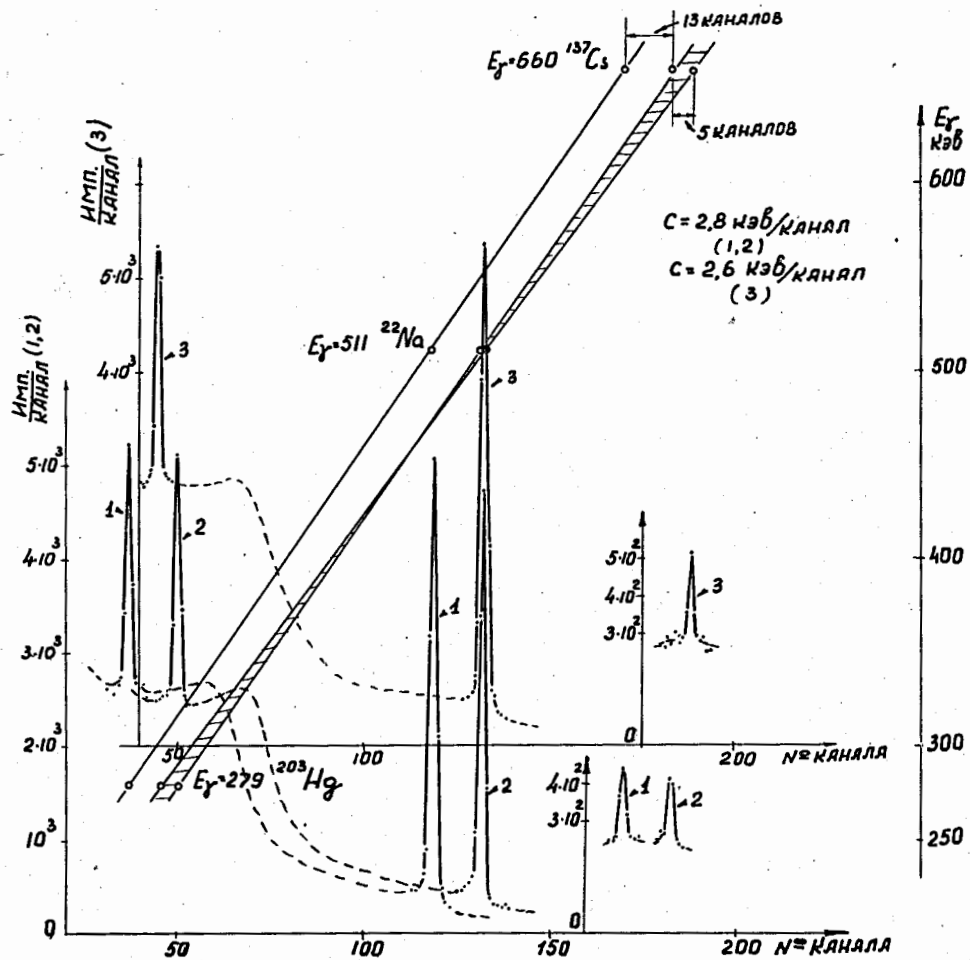


Рис. 3. Гамма-спектр ^{203}Hg , ^{137}Cs и ^{22}Na . 1 и 2 – спектры, полученные при различных значениях порога дискриминации; 3 – спектр, полученный с применением системы стабилизации и изменением порога дискриминации в тех же пределах, что и для спектра 1. В качестве опорных импульсов при стабилизации использовался фотопик препарата ^{22}Na с энергией $E = 511$ кэВ.

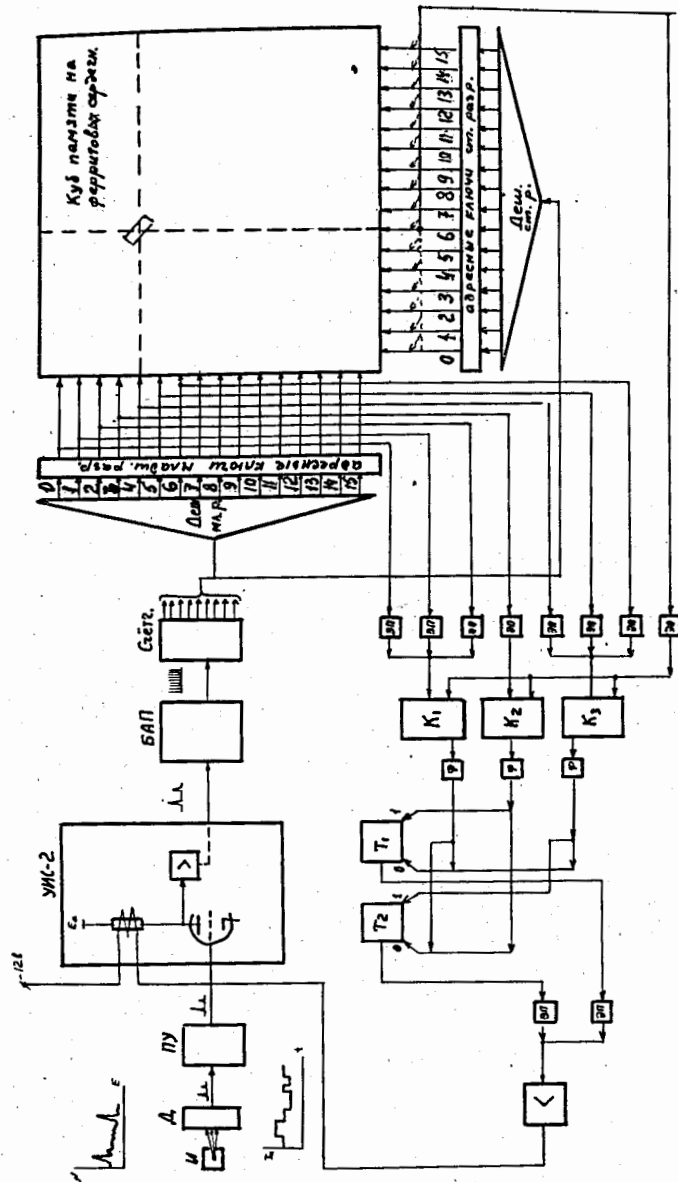


Рис. 4. Блок-схема цифровой системы стабилизации у-спектрометра.

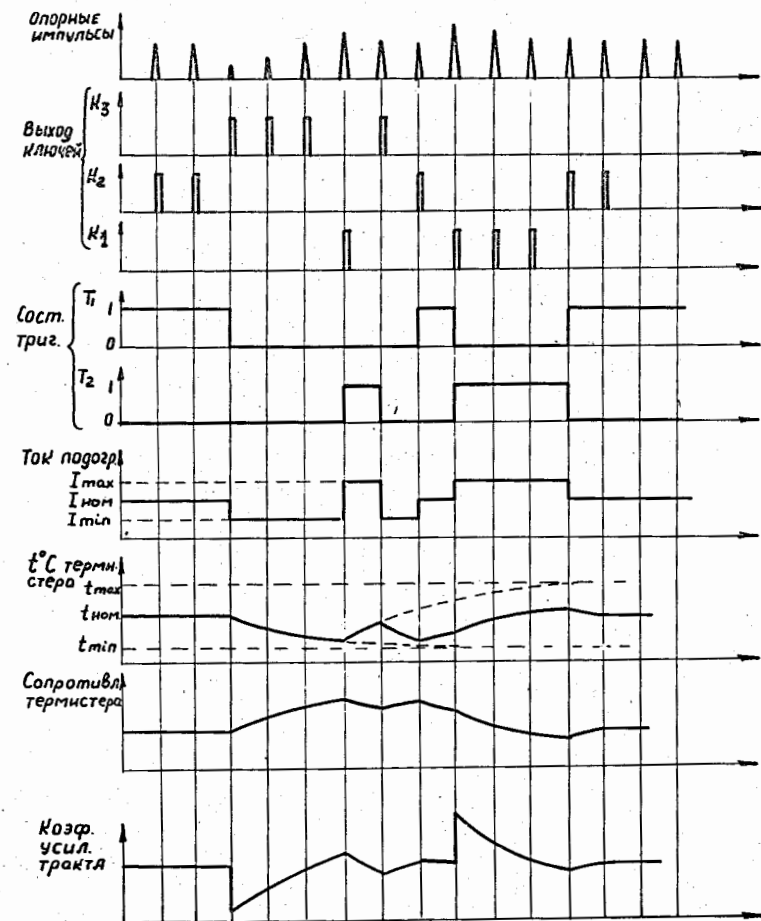


Рис. 5. Временные диаграммы работы γ -спектрометра с применением цифровой системы стабилизации.

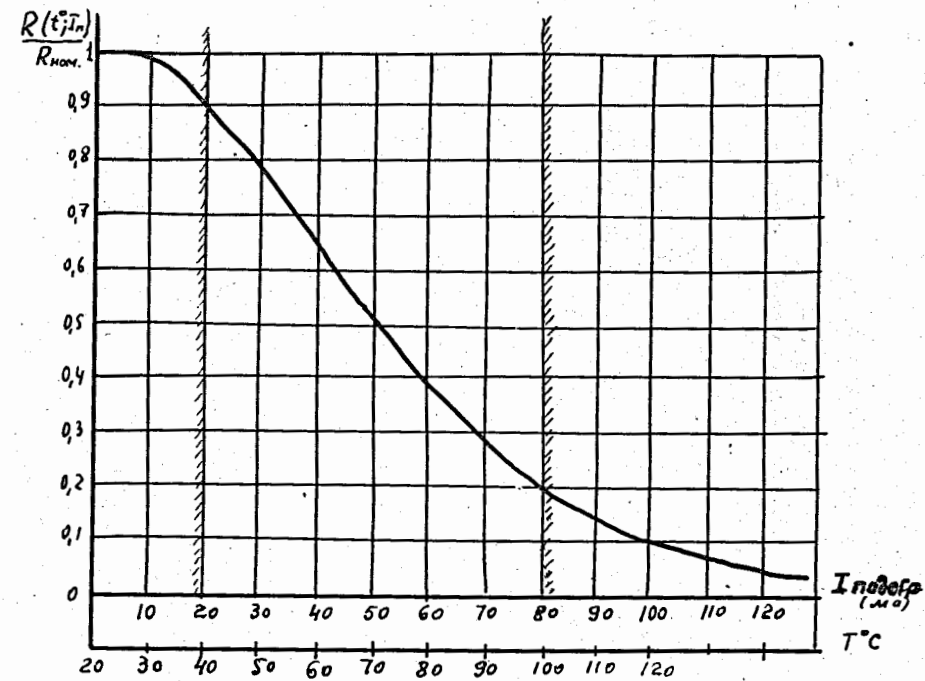


Рис. 6. Зависимость сопротивления термистера от температуры и тока подогрева.

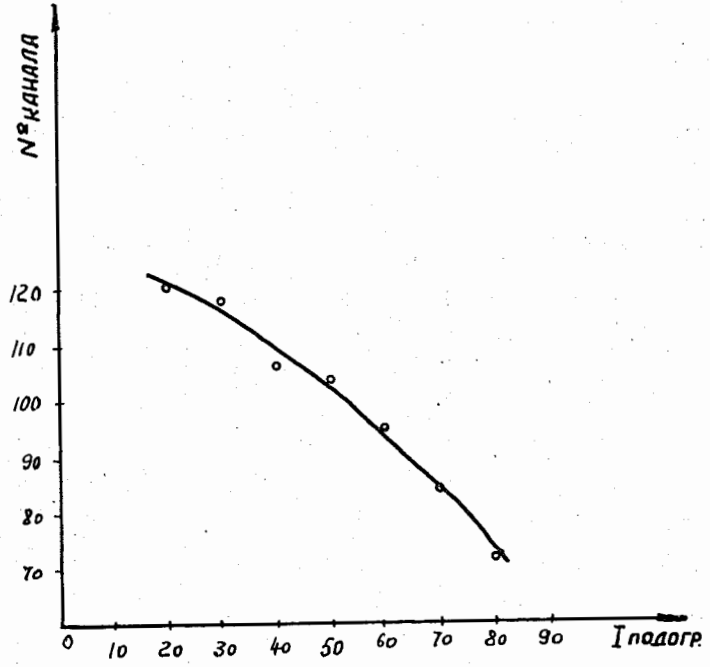


Рис. 7. Зависимость коэффициента усиления тракта от тока подогрева термистера.

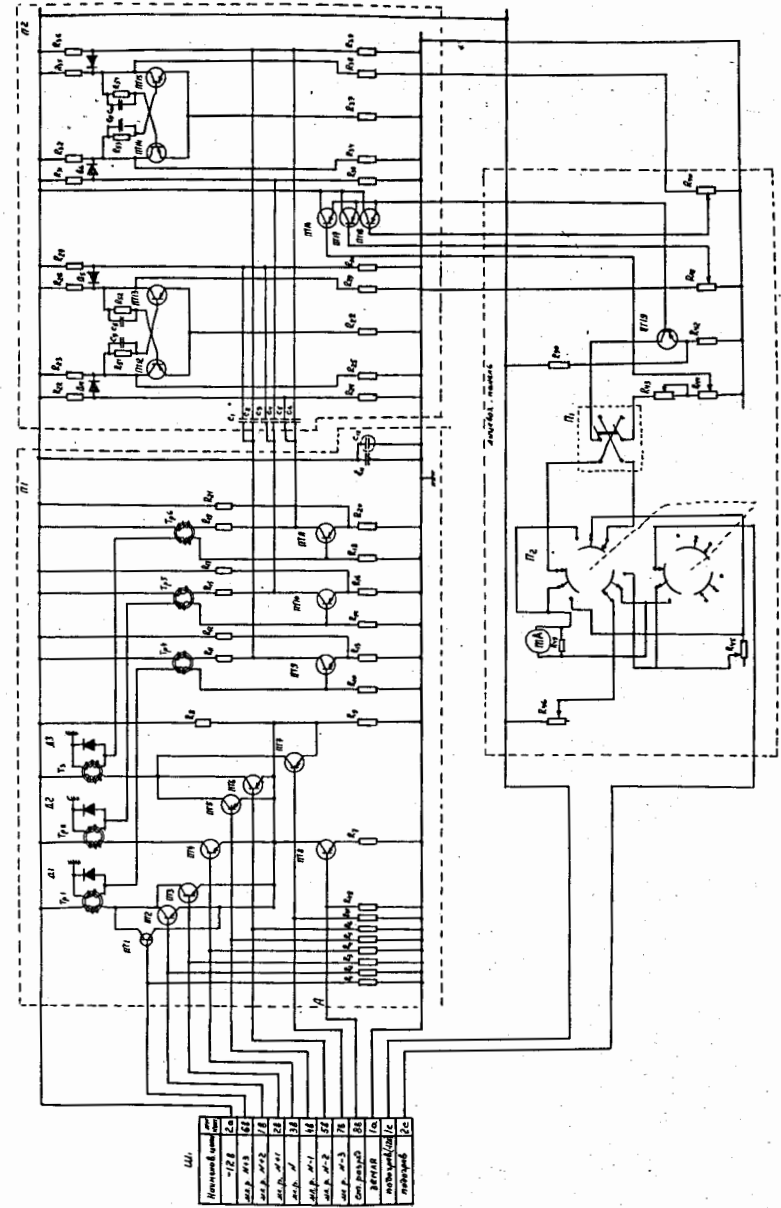


Рис. 8. Принципиальная схема блока стабилизации у-спектрометра.

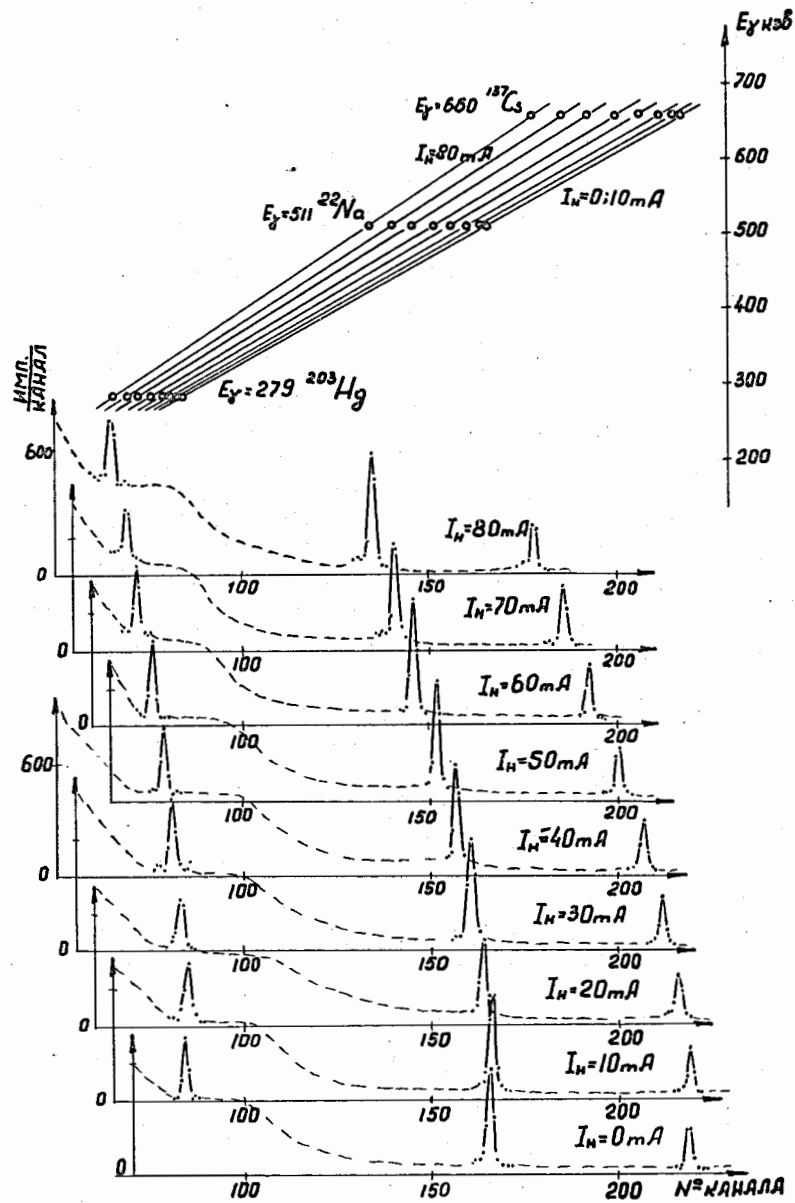


Рис. 9. γ -спектры препаратов ^{208}Hg , ^{22}Na , ^{137}Cs при различных токах подогрева термосопротивления.

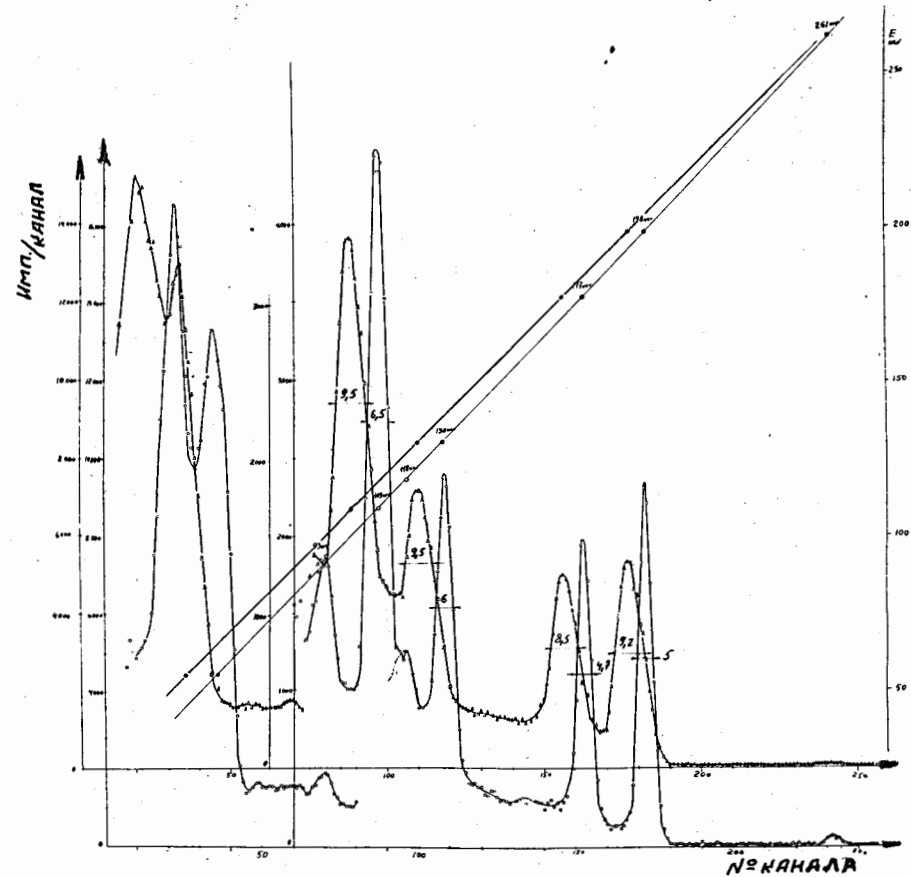


Рис. 10. γ -спектр ^{169}Yb , измеренный в течение 1 часа; 0-спектр, измеренный без стабилизации тракта, Δ -спектр, измеренный с применением стабилизации.

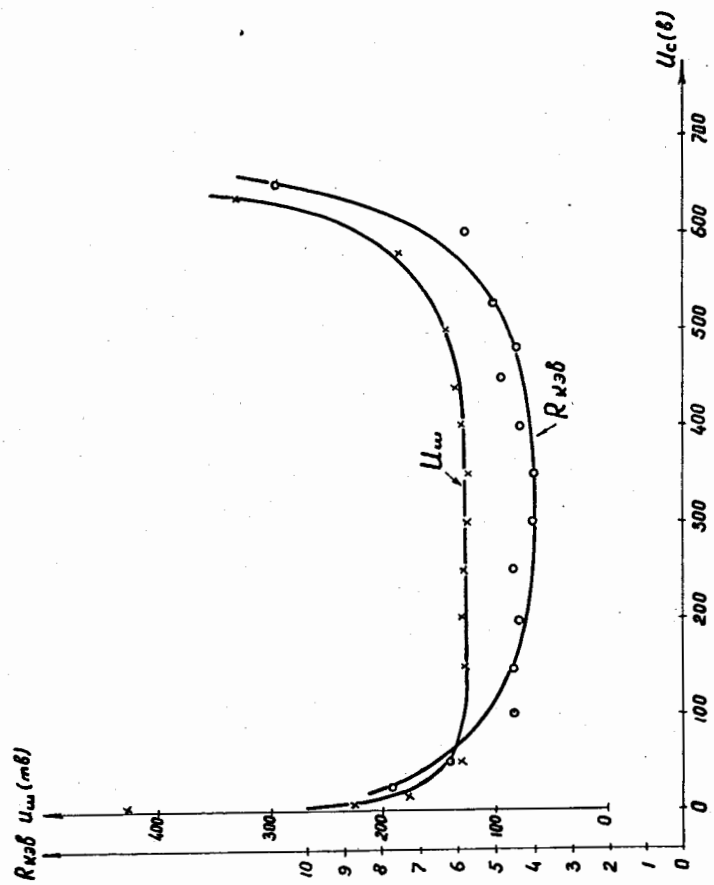


Рис. 11. Зависимость разрешения детектора и уровня шумов от напряжения смещения.

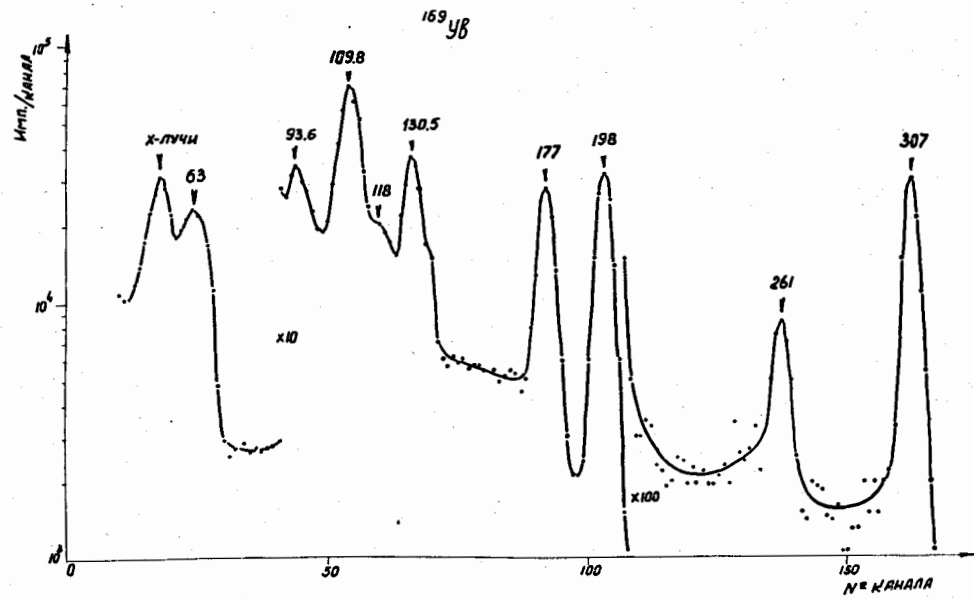


Рис. 12. Гамма-спектр ^{169}Yb .

σ [эффективность]

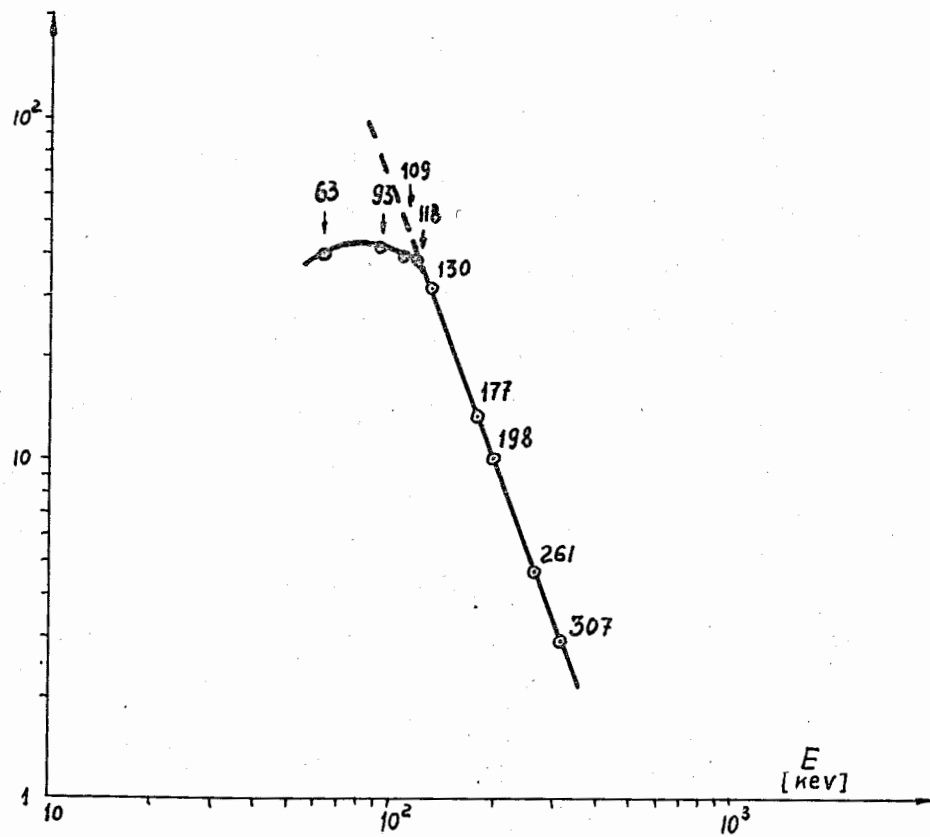


Рис. 13. Эффективность регистрации детектора в зависимости от энергии.

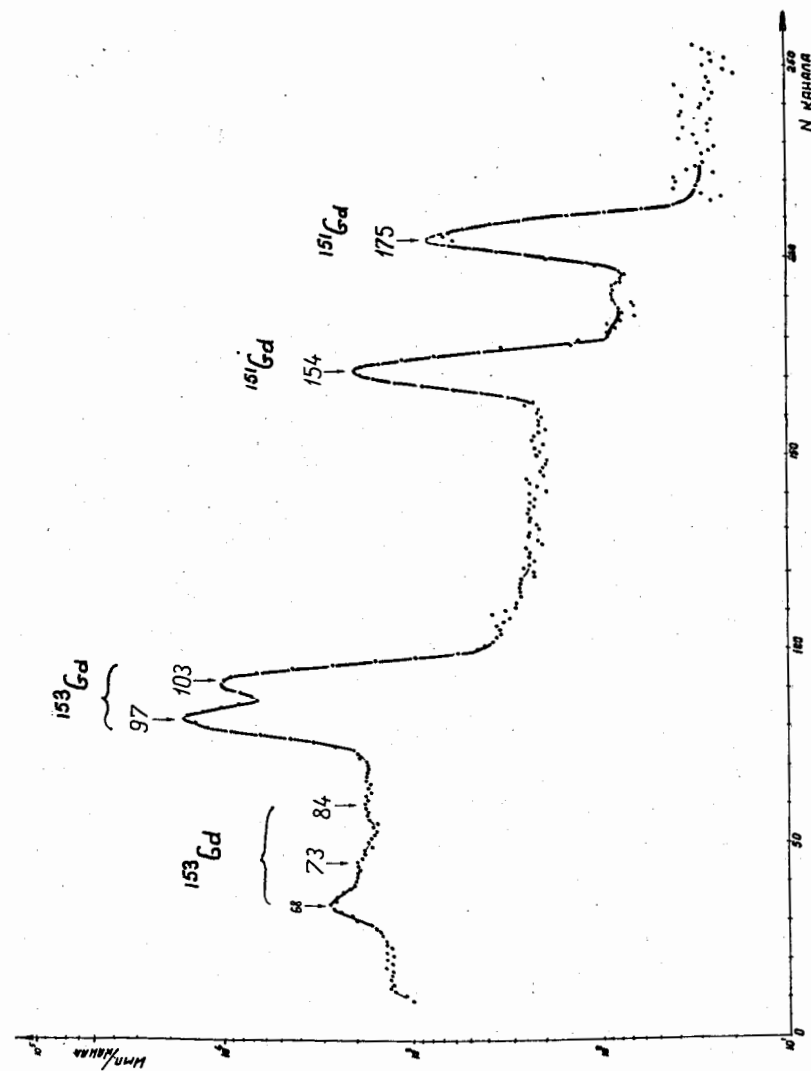


Рис. 14. Гамма-спектр ^{151}Gd .

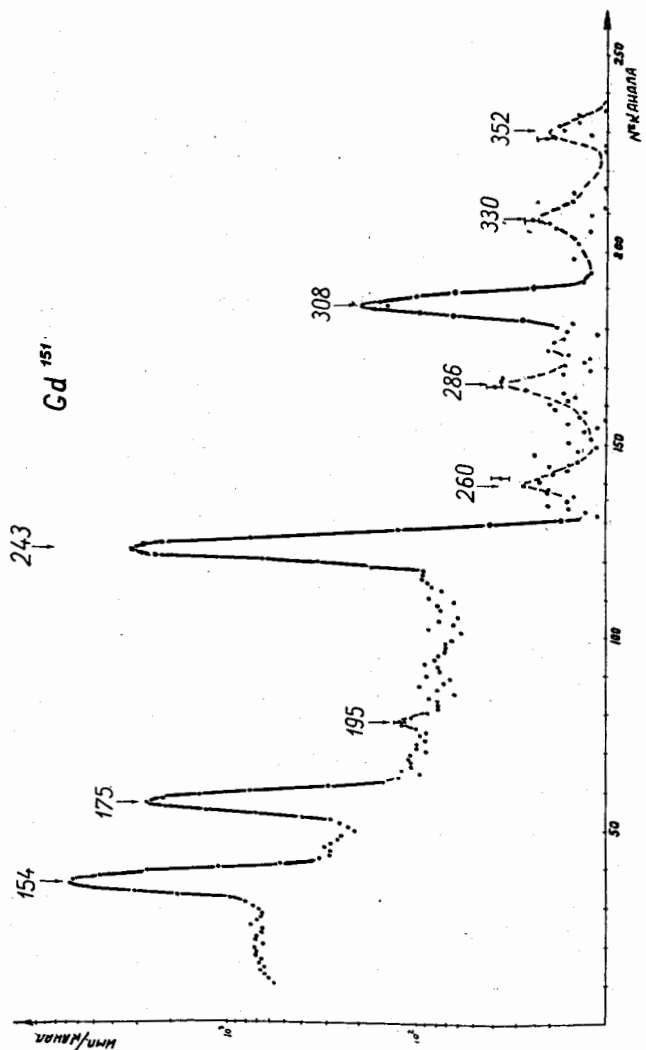


Рис. 15. Гамма-спектр ^{151}Gd .

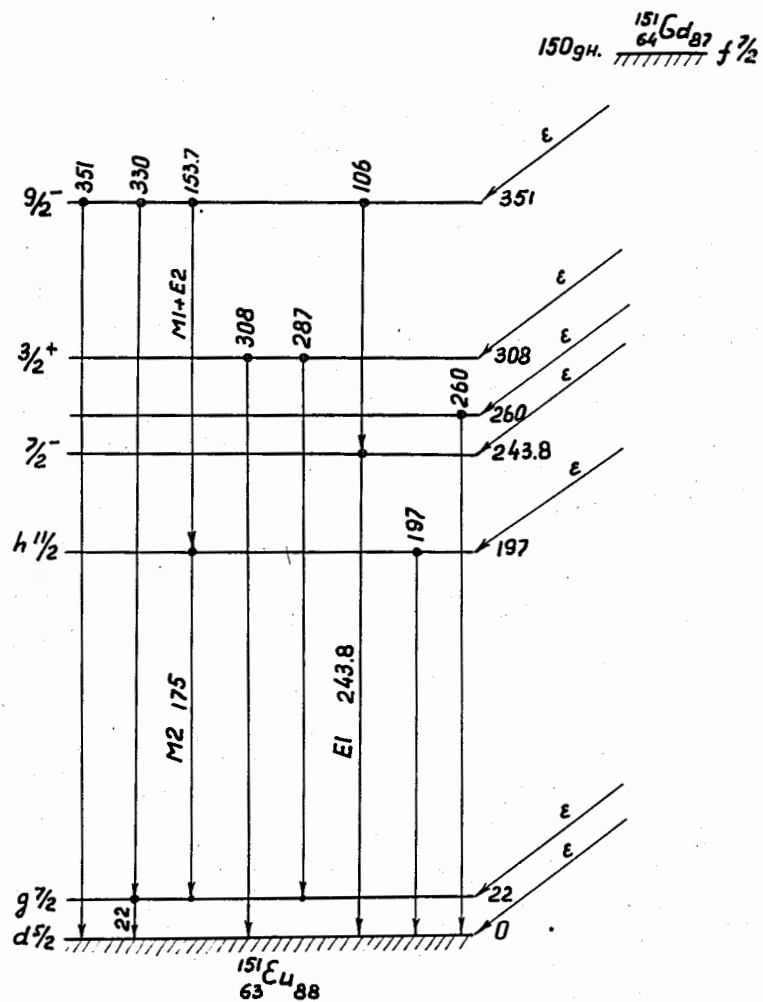


Рис. 16. Схема распада $^{151}\text{Gd} \rightarrow ^{151}\text{Eu}$.

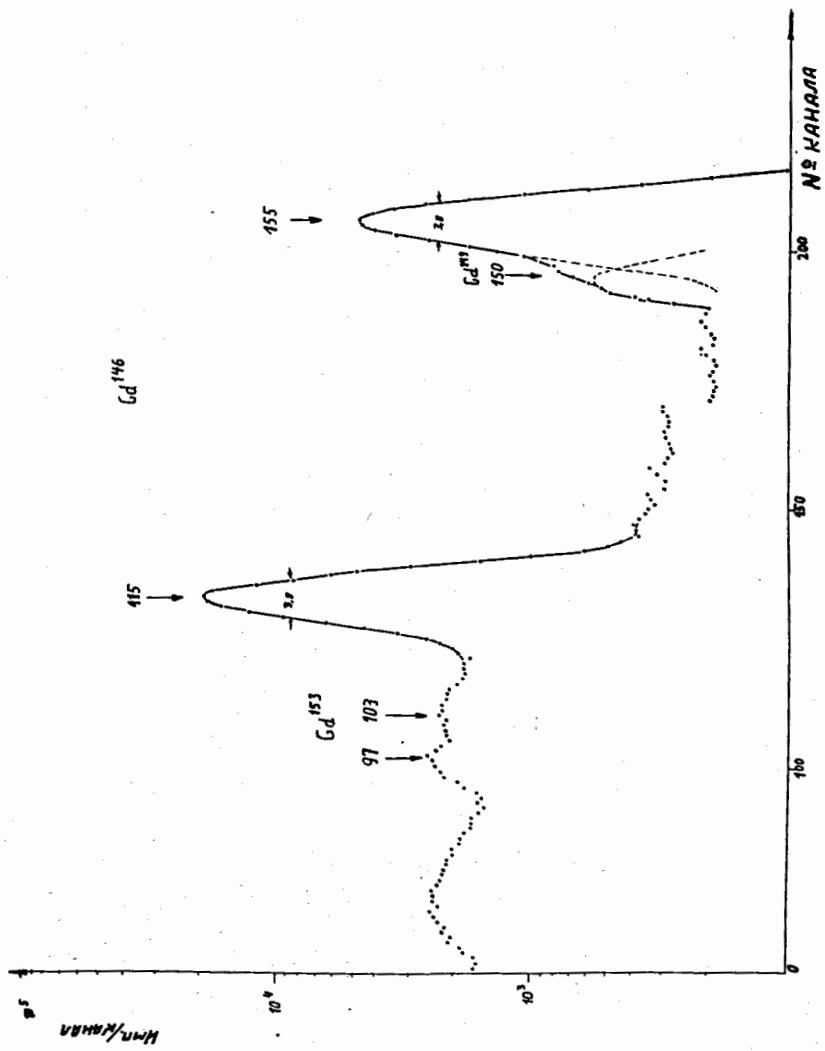


Рис. 17. Гамма-спектр ^{146}Gd .

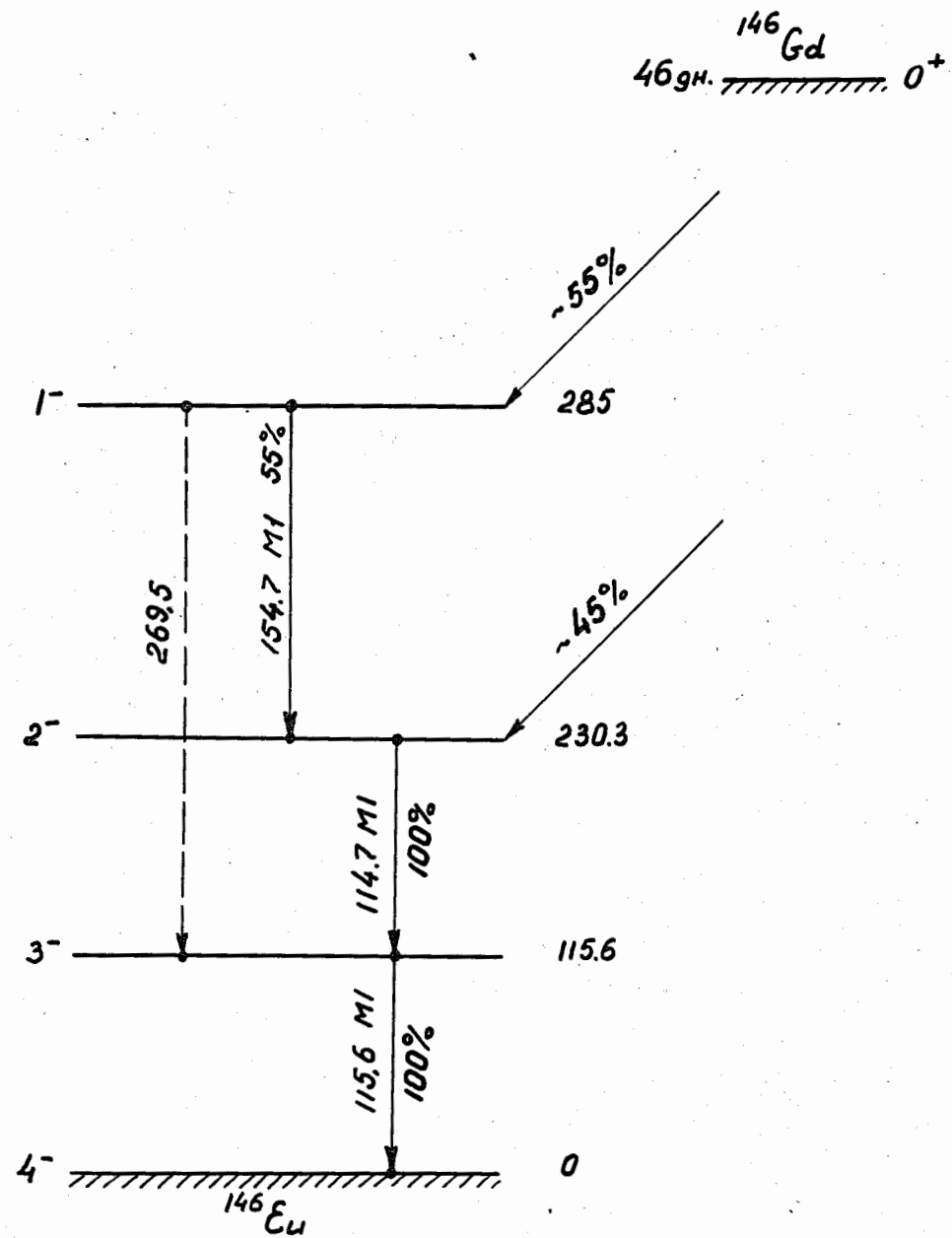


Рис. 18. Схема распада $^{146}\text{Gd} \rightarrow ^{146}\text{Eu}$.

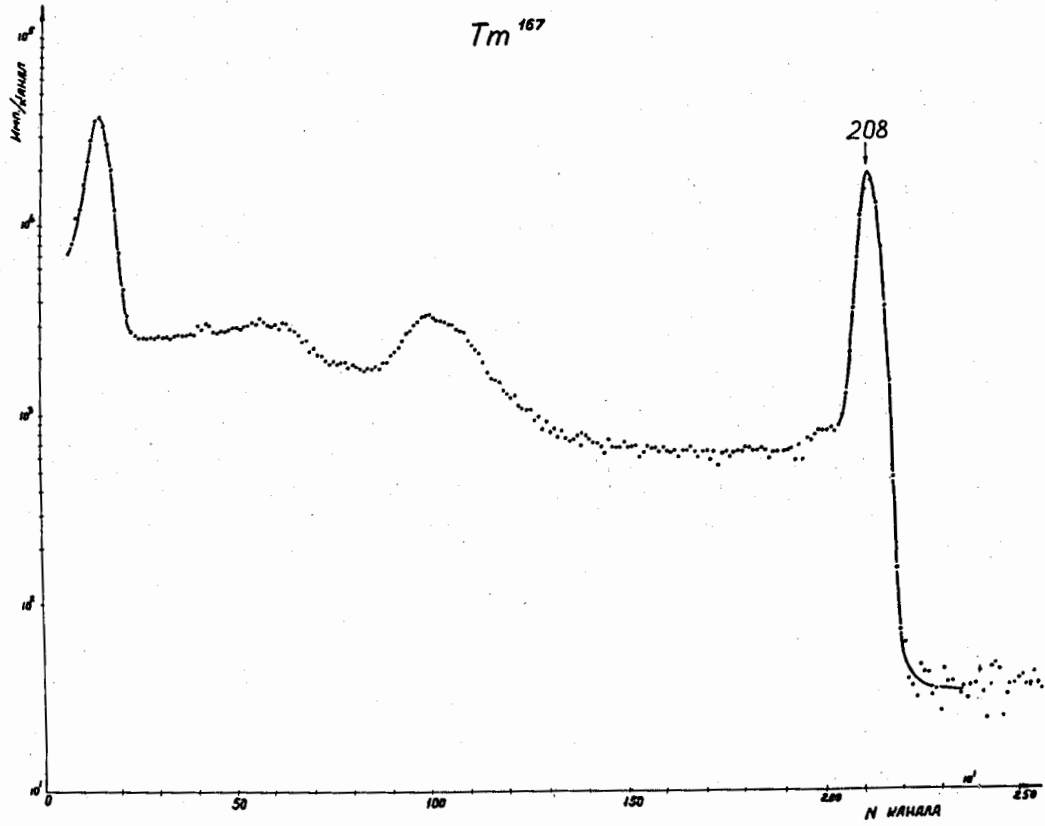


Рис. 19. Гамма-спектр Tm^{167} .

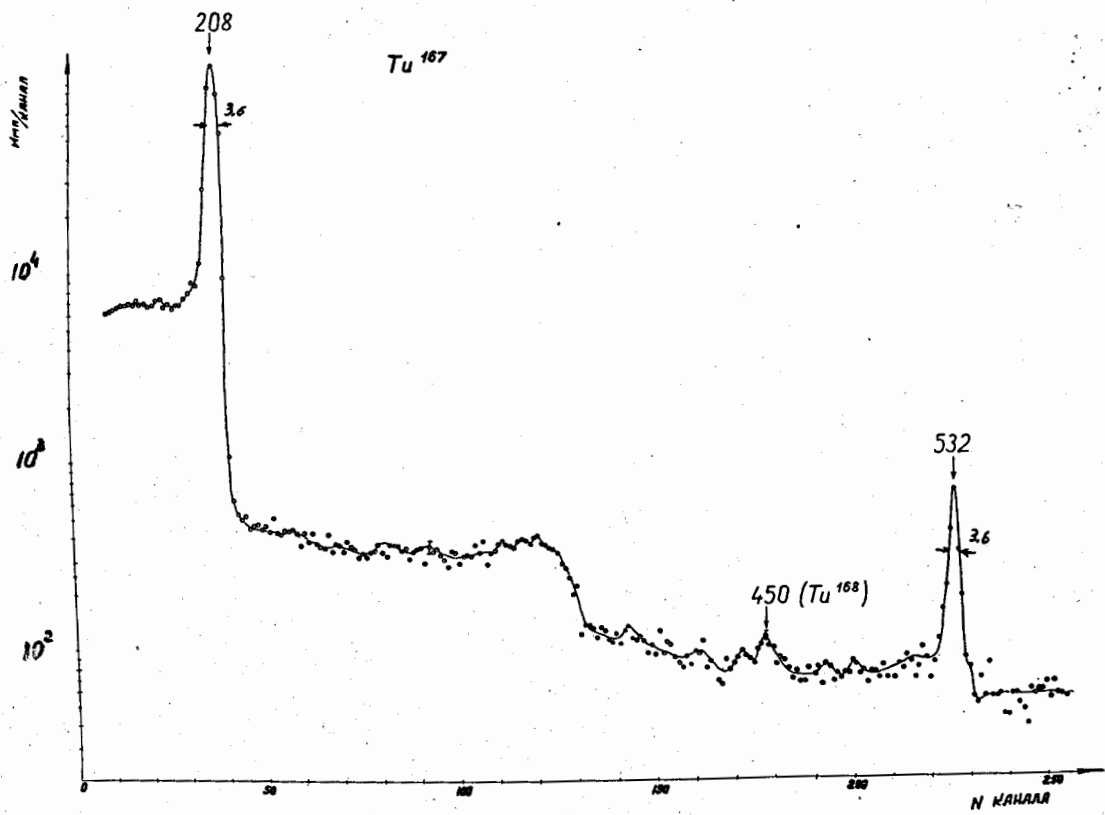


Рис. 20. Гамма-спектр Tu^{167} .