

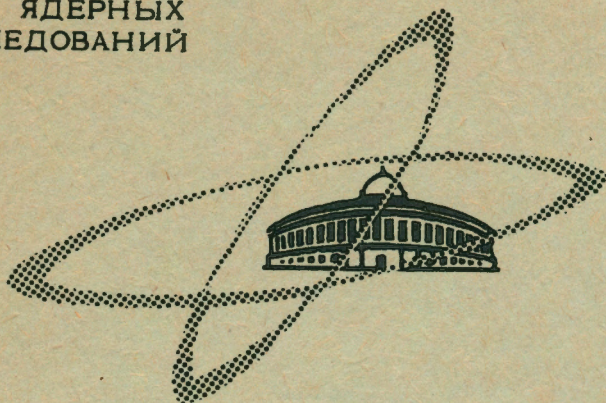
3769

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАП.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 3769



Р.Арльт, А.И.Калинин, Г.Музиоль, Х.Штрусный

МАЛОШУМЯЩИЙ ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ
С ПОЛЕВЫМ ТРИОДОМ

Доклад на XVIII ежегодном совещании по ядерной
спектроскопии и структуре атомного ядра

Рига, 25 января – 2 февраля 1968 г.

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1968

13 - 3769

Р.Арльт, А.И.Калинин, Г.Музиоль, Х.Штрусный

**МАЛОШУМЯЩИЙ ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ
С ПОЛЕВЫМ ТРИОДОМ**

Доклад на XVIII ежегодном совещании по ядерной
спектроскопии и структуре атомного ядра

Рига, 25 января - 2 февраля 1968 г.

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Полупроводниковые детекторы в последнее время стали прецизионными приборами для измерения α , β , γ - излучений. Получение хорошего энергетического разрешения при работе с этими детекторами в значительной степени определяется используемыми усилителями. Большой прогресс в технике малозумящих предусилителей связан с появлением полевых триодов.

Благодаря малому току затвора, небольшой входной емкости и достаточно высокой крутизне полевые триоды даже без охлаждения позволяют получить лучшие результаты, чем с ламповыми усилителями /1-4/.

В данной работе описывается предусилитель с полевым триодом без охлаждения для коаксиального германиевого детектора относительно большого объема ($6,3 \text{ см}^3$) и емкости (25 пф). Такие детекторы особенно необходимы для измерения с хорошей эффективностью жестких γ -квантов, которые возникают при распаде короткоживущих изотопов. Предусилители, работающие с детекторами с большей емкостью, должны иметь небольшой уровень шума при нулевой емкости и как можно меньшее нарастание шума в зависимости от внешней емкости. В частности, в таком предусилителе желательно иметь минимальный шумовой вклад от второго и последующих каскадов.

Наиболее естественный путь для уменьшения наклона кривой зависимости шума от емкости - параллельное включение во входном каскаде нескольких полевых триодов^{/1/}. Однако при емкости $C = 25$ пф это почти не дает выигрыша вследствие увеличения начального шума. Кроме того не всегда имеются в наличии однотипные, близкие по параметрам, полевые триоды.

Для случая, когда в первом каскаде усилителя стоит один триод при комнатной температуре, лучший результат получен со схемой^{/1/}, в которой второй каскад выполнен также на полевом триоде. Отсюда возникает вопрос - можно ли получать низкий уровень шума с биполярным транзистором во втором каскаде.

Эквивалентное шумовое сопротивление R_s для полевого триода и следующего за ним - биполярного можно найти по формуле:^{/2,5/}

$$R_s = R'_s + \frac{1}{S^2} \left[\frac{1}{R_H} + \frac{e}{2kT} I \right] + R''_s \left[\frac{1}{\mu} + \frac{1}{SR_H} + \frac{C_a}{C} \right]^2$$

Здесь R'_s - эквивалентное шумовое сопротивление полевого триода;

$R_H = \frac{R_C R}{R_C + R}$ - нагрузка полевого триода, она определяется стоковым сопротивлением триода R_C и сопротивлением R , шунтирующим вход транзистора;

S - крутизна триода;

$\mu = R_1 S$;

C_a, C - проходная емкость триода и входная емкость усилителя;

$R''_s = \frac{r_e}{2} + r_B$ - эквивалентное шумовое сопротивление биполярного транзистора;

I - базовый ток транзистора.

Обычно вместо R_c ставят индуктивность L достаточно большой величины, чтобы в рабочем диапазоне частот выполнялось неравенство $\omega L \gg r$, где r — активное сопротивление индуктивности. В нашем случае $L \approx 100$ мкГн, $r \approx 100$ ом. При этом шумовой вклад r можно не учитывать, а нагрузкой полевого триода считать R .

Как известно, $R'_s = \frac{0,7}{S}$, откуда для лучших полевых триодов ($S = 3,5 + 4,5$ ма/в) эквивалентное шумовое сопротивление равно $200 + 150$ ом. R''_s для биполярных транзисторов при $I = 0,5 + 1$ ма равен $200 + 100$ ом.

Полагая для полевого триода $S = 3,5$ ма/в, $R_1 = 50$ ком, а также $R = 12$ ком, $\beta = 100$, при подстановке в формулу получим:

$$R_s = 200 + 6,8 + 8,2 + 3,9 = 218,9 \text{ ом.}$$

Отсюда получаем, что шумовой вклад второго каскада составляет $\approx 4,7\%$. Увеличивая сопротивление R и подбирая оптимальный ток биполярного транзистора, шумовой вклад можно еще уменьшить.

Если использовать во втором каскаде полевой триод, то не будет шума базового тока. Однако улучшение от этого незначительное, и поэтому второй каскад можно выполнить на биполярном транзисторе с достаточно высоким β .

Экспериментальные измерения проводились с предусилителем, схема которого приведена на рис. 1. Второй каскад включен по схеме с общим коллектором. Высокое входное сопротивление этого каскада приводило бы к неустойчивости усилителя, поэтому введена параллельная обратная связь с коллектора на базу^{12/}.

Коэффициент усиления первой секции без зарядовой обратной связи

$K \approx 1000$. Он был оценен по входной динамической емкости, которая при $C_{обр.} = 2$ пф равна 2000 пф.

Непосредственное определение шумового вклада второго каскада показало, что он не превышает 7%.

Эквивалентное шумовое сопротивление R_s , измеренное по известной методике^{/6/}, составило 210 ом.

Зависимость разрешения от емкости определялась при помощи ртутного генератора, который был прокалиброван непосредственно с детектором. Эта зависимость показана на рис. 2.

$$\frac{1}{2} \Delta_{кэв}^{с_0} \approx 0,9 + 0,05 C \text{ (пф)}.$$

При параллельном включении двух примерно одинаковых полевых триодов T_2 и T_3 (рис. 3) наблюдается улучшение наклона зависимости $\frac{1}{2} \Delta$ (С). Однако в отличие от^{/1/} при $C = 0$ шум с одним и двумя триодами одинаков, что, по-видимому, связано с большой паразитной емкостью входной схемы (переходный конденсатор, резисторы и пр.), т.к. предусилитель смонтирован в небольшом металлическом корпусе 170 x 100 x 40 мм^{х/}. При изменении формирующих RC цепей лучшее разрешение наблюдается при $\tau = 1,5$ мксек, однако, эта величина определяется не только усилителем, но и анализатором, т.к. работа входного блока в используемом анализаторе АИ-4096 сильно зависит от фронта и длительности анализируемого импульса.

^{х/} Корпус предусилителя разработан и изготовлен в электронной группе ОЯС и РХ ЛЯП ОИЯИ.

Предусилитель испытывался с коаксиальным $\text{Ge}(\text{Li})$ - детектором со следующими параметрами:

чувствительный объем - $6,3 \text{ см}^3$;

емкость - 25 пф;

ток детектора (при $E_{\text{дет}}$ до 2000 в) \leq 0,5 на.

На рис. 4 показана зависимость выходного шума усилителя с детектором от напряжения смещения на детекторе.

Измерение шума производилось вольтметром ВЗ-19. Как видно, оптимальное напряжение смещения \approx 1500 в.

На рис. 5 представлен спектр ^{169}Yb , полученный с предусилителем с одним полевым триодом T_1 , в качестве основного усилителя использовался усилитель УСТ^{/7/}, разработанный в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Как видно, разрешение для низкоэнергетических γ - линий составляет $2,4 + 2,5$ кэв.

Зависимость разрешения от энергии E_γ - излучения показана на рис. 6. Эти измерения производились при низкой скорости счёта, \approx 1000 имп/сек.

Для работы при высоких нагрузках в предусилителе было введено дополнительное дифференцирование с $\tau = 2,5$ мксек, а постоянная времени дифференцирования в основном усилителе уменьшена до 0,5 мксек. В этом случае разрешение при высокой скорости счёта значительно лучше, но при малой нагрузке оно ухудшается, т.к. выходной импульс становится биполярным. Восстановить однополярную форму импульса можно при помощи метода компенсации полюса нулем^{/8,9/}. Для этого параллельно $C = 270$ пф в предусилителе ставился резистор $R = 6 \text{ Мом}$, и аналогичная цепь с $\tau = 2,5$ мксек устанавливалась в основном усилителе.

В результате на ^{60}Co при загрузке 15 тыс. импульсов в секунду получено разрешение 6 кэв.

В заключение авторы благодарят за участие в настройке усилителя К.А.Мартиросова, а также А.Е.Банифатова, В.А.Быстрова, В.Савина за монтажные работы.

Л и т е р а т у р а

1. Smith T.F., Cline J.E. IEEE Trans NS-13(3), 468 (1966).
2. Blalock T.V. IEEE Trans. NS-13(3), 457 (1966).
3. Harris R.I. Shuler W.B. Nucl. Instrum. Meth., 51, 341 (1967).
4. McKenzie J, Met al. Nucl. Instrum. Meth., 54, 147 (1967).
5. Ю.К.Акимов, А.И.Калинин, В.Ф.Кушнирук, Х.Юнгклауссен. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение. Москва, Атомиздат 1967 г.
6. Blankenship J.L. IEEE NS-11(3). 373 (1964).
7. В.Г.Субботин, Б.В.Фефилов. Препринт ОИЯИ 13-311 Дубна, 1967 г.
8. Nowlin C.H., Blankenship J.L. Rev. Sci. Instrum., 36, 1063 (1965).
9. Strauss M.G. et al. Rev. Sci. Instrum., 38, 725 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел

18 марта 1967 года.

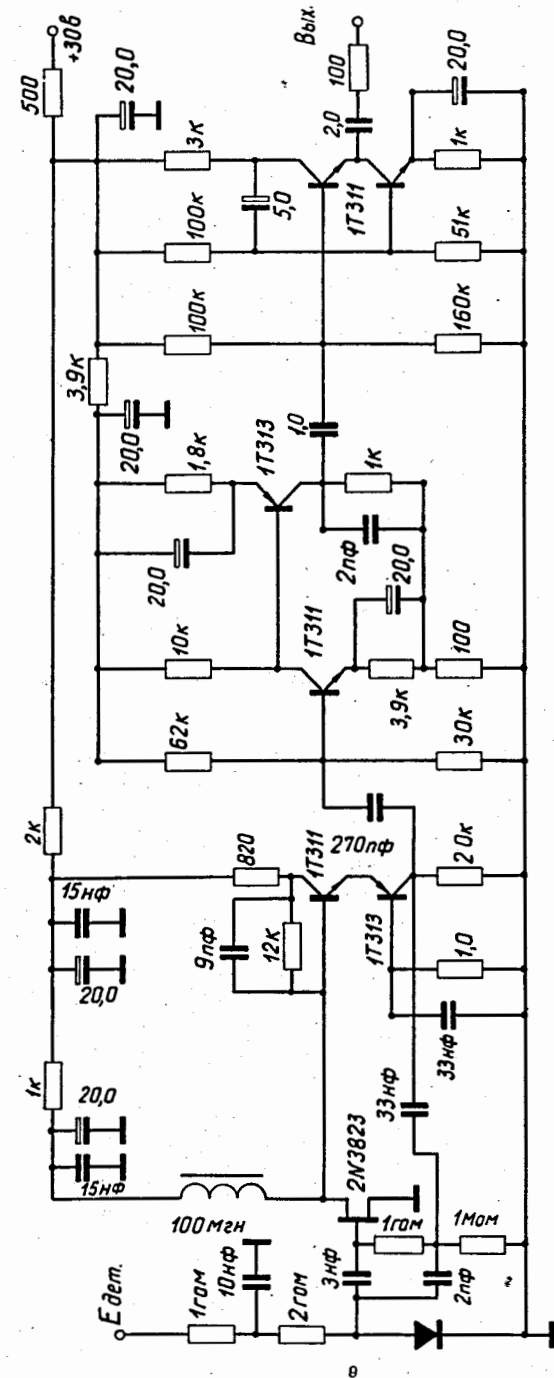


Рис. 1. Схема предусилителя.

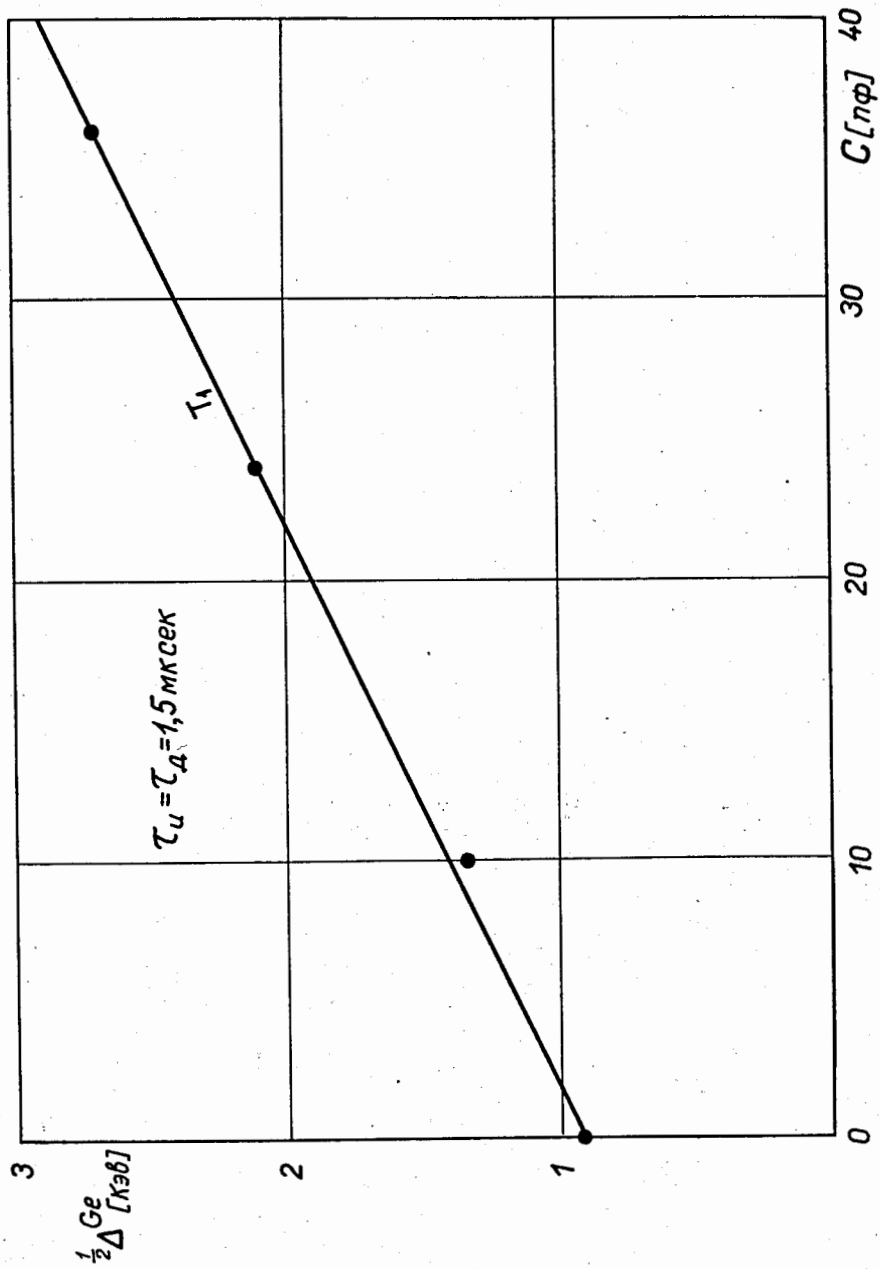


Рис. 2. Зависимость шума предусилителя с одним полевым триодом T_1 от внешней емкости.

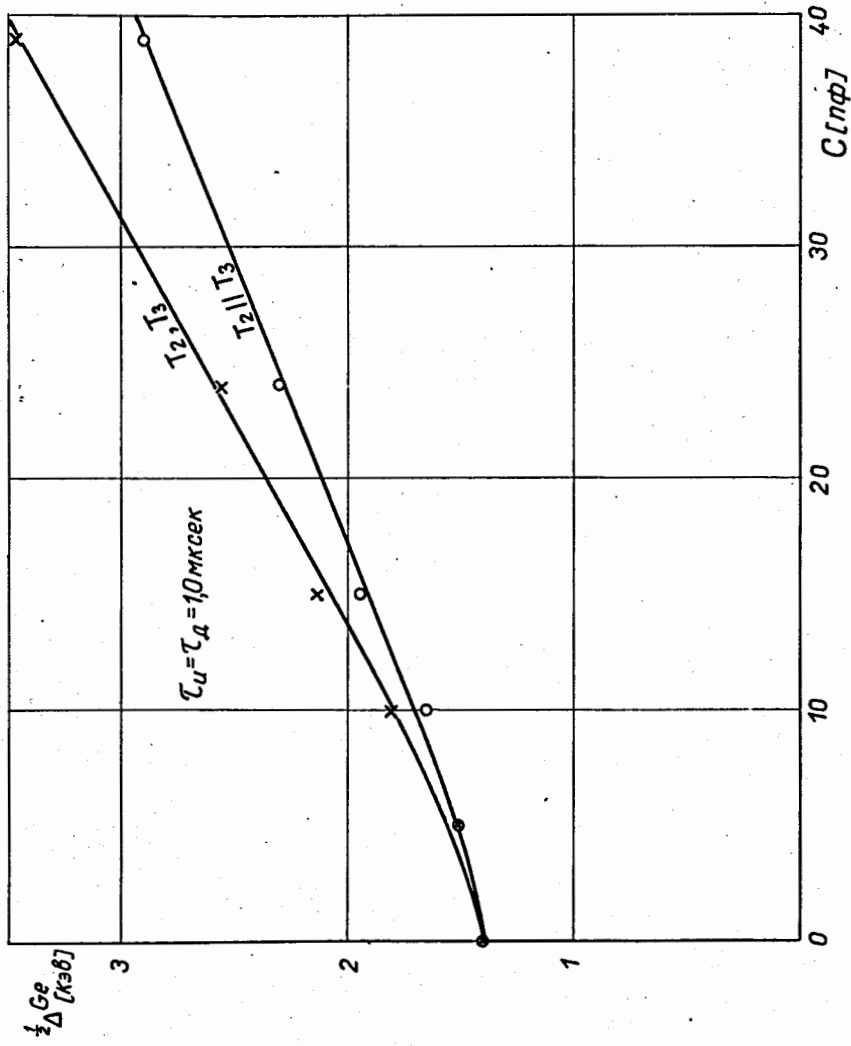


Рис. 3. Зависимость шума предусилителя от внешней емкости: T_2, T_3 - для предусилителя с одним полевым триодом; $T_2 || T_3$ - для предусилителя с двумя полевыми триодами, включенными параллельно.

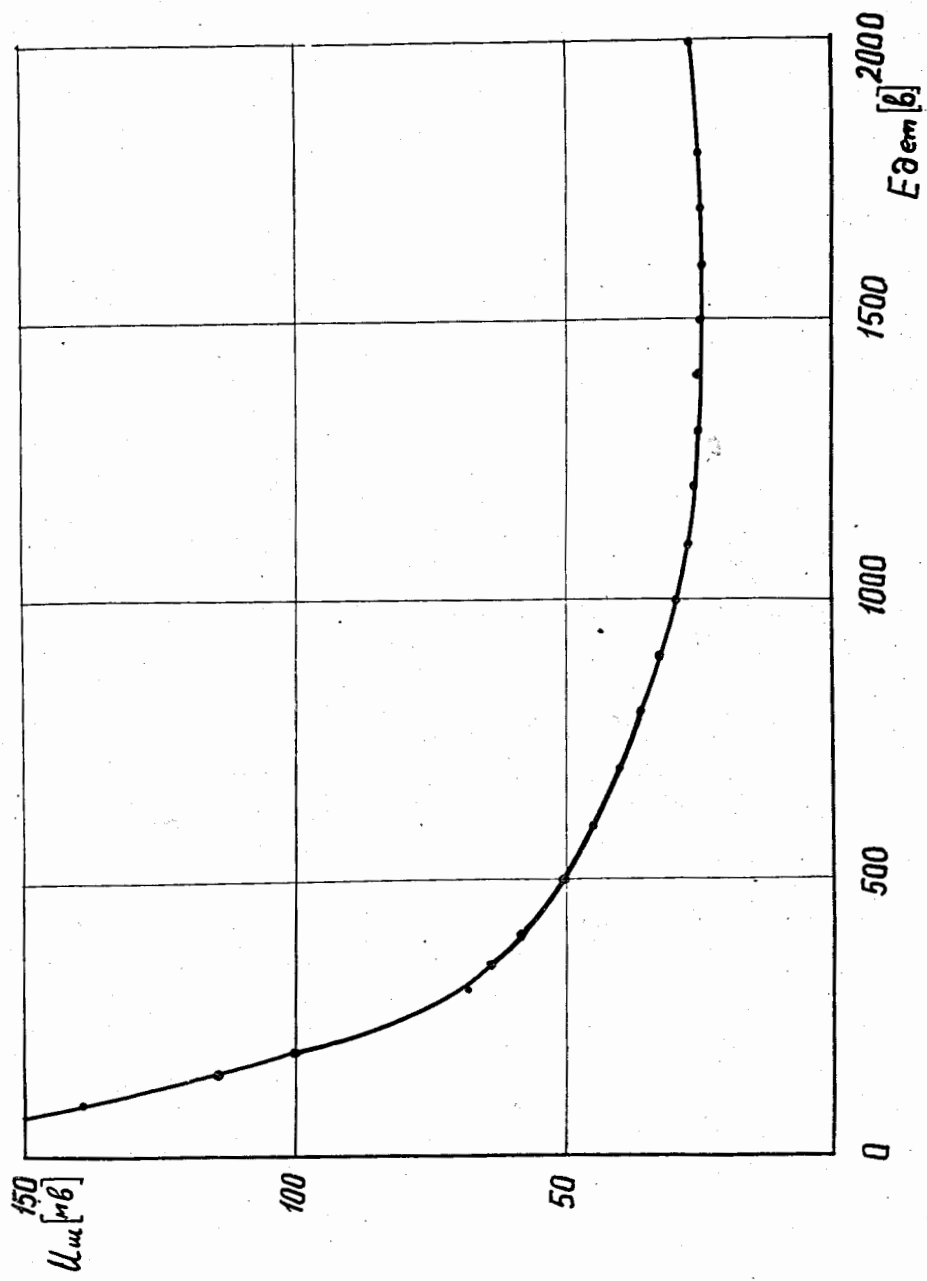


Рис. 4. Зависимость выходного шума усилителя от напряжения смещений на германиевом детекторе.

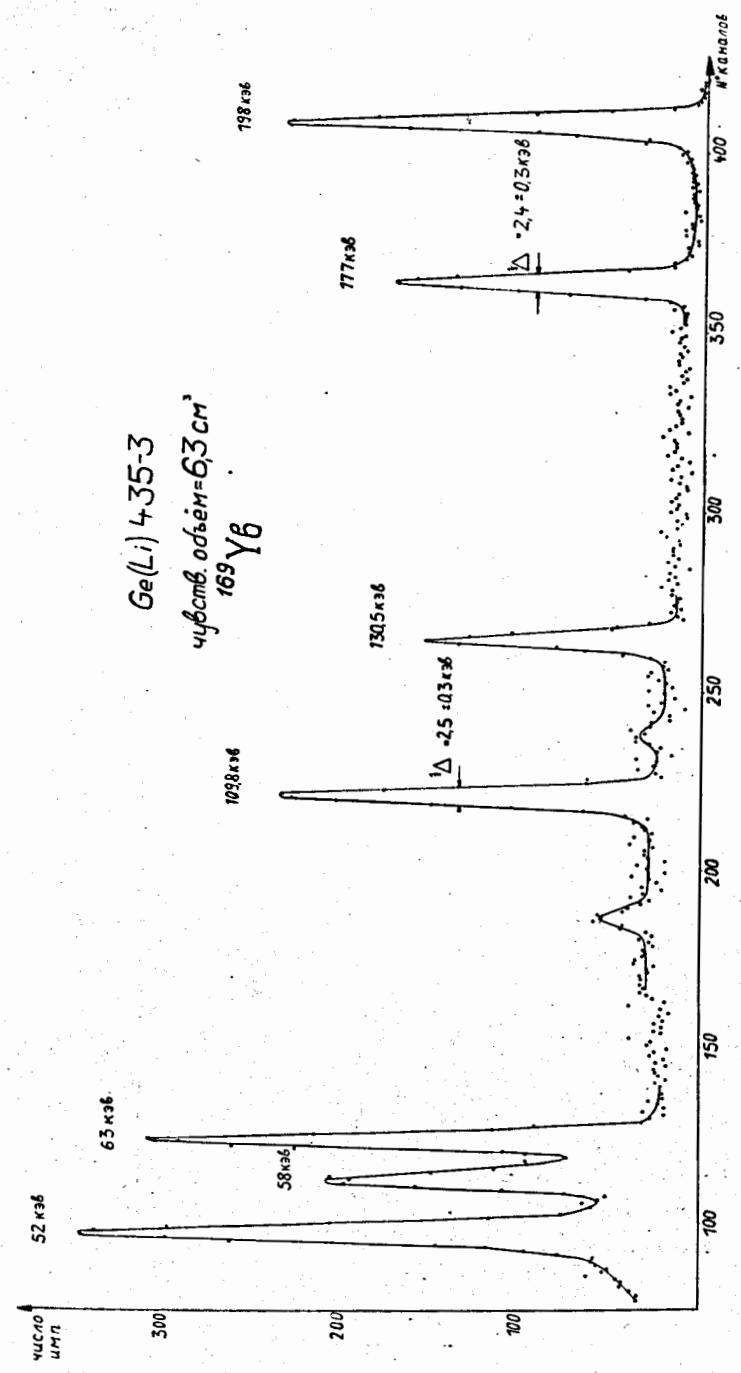


Рис. 5. γ -спектр ^{169}Yb .

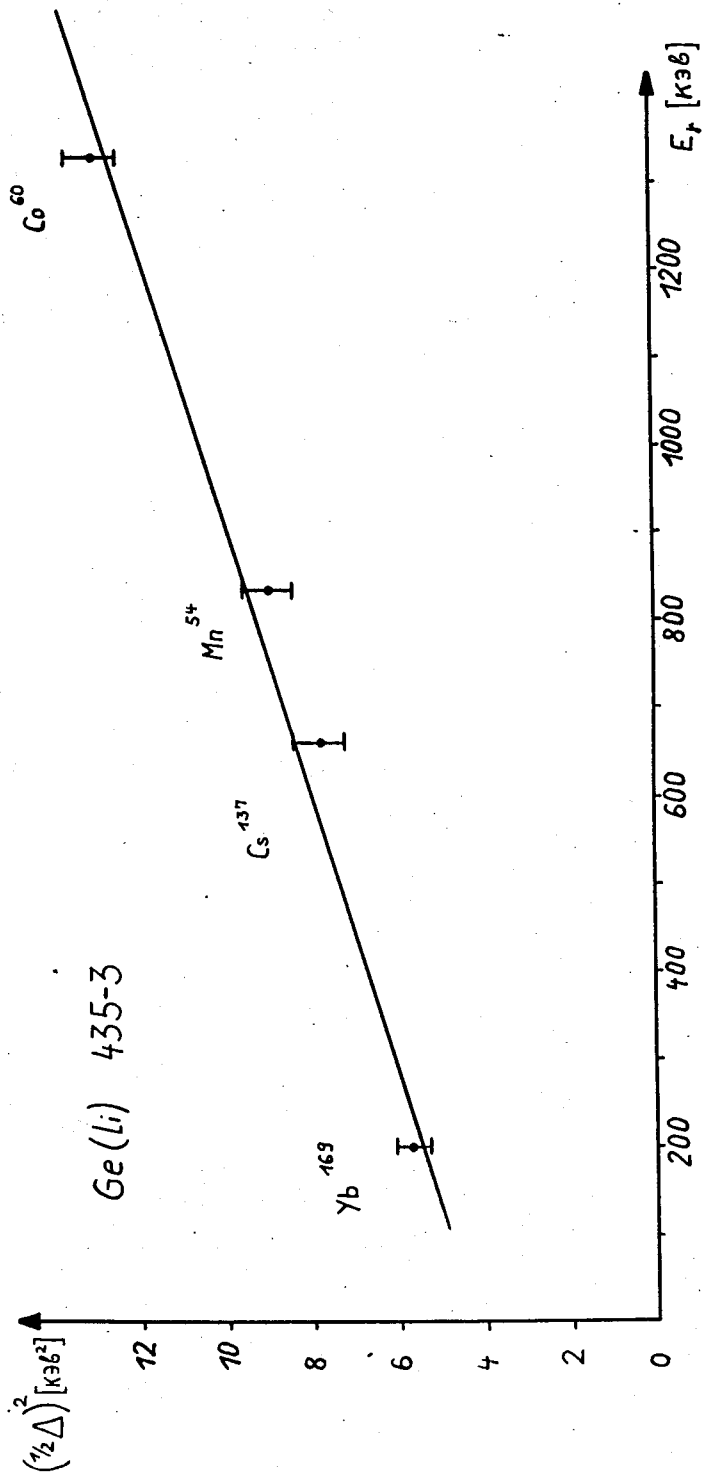


Рис. 6. Зависимость разрешения от энергии излучения.