

29/11-7

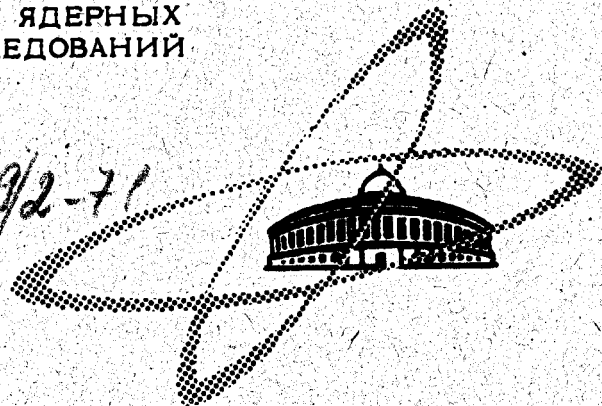
B-655

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P 15 - 5524

9.39/2-71



И.Войтковска, В.С.Евсеев, Т.Козловски
Т.Н.Мамедов, В.С.Роганов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ВЫХОД НЕЙТРОНОВ
ИЗ РЕАКЦИИ МЮ-ЗАХВАТА В КИСЛОРОДЕ,
СЕРЕ, КАЛЬЦИИ И СВИНЦЕ

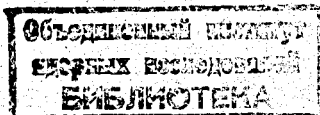
1970

P 15 - 5524

И.Войтковска, В.С.Евсеев, Т.Козловски
Т.Н.Мамедов, В.С.Роганов

**ВЫХОД НЕЙТРОНОВ
ИЗ РЕАКЦИИ МЮ-ЗАХВАТА В КИСЛОРОДЕ,
СЕРЕ, КАЛЬЦИИ И СВИНЦЕ**

Направлено в ЯФ



S U M M A R Y

1. An absolute mu-capture neutron yield (per mu-capture event) has been measured in oxygen, sulphur, calcium and lead in the energy regions of 2.5 to 7.5 MeV ($n=0.526 \pm 0.0968$) 1.5 to 10 MeV ($n=0.414 \pm 0.035$), 2 to 10 MeV ($n=0.263 \pm 0.033$) and 2 to 7 MeV ($n=0.536 \pm 0.031$), respectively.

2. The measurement of the mu-capture absolute neutron yield in sulphur, calcium and lead has made it possible to compare the data of ref. /9/ taking into account their spectra. Figs. 2,3,4 show that the data of these refs. are in good agreement in the overlapping region within errors.

3. Our data on the neutron yield for sulphur, calcium and lead do not contradict the data of refs. /11,12/.

4. In mu-capture in oxygen there is a quantitative agreement between the neutron yield value obtained by ourselves and the resonance model prediction on the nuclear mu-capture /1/.

Введение

В теоретических работах ^{/1,2,3/} вычисляются виды нейтронных спектров, коэффициент асимметрии нейтронов, а также выход нейтронов на один акт мю-захвата. Существующие экспериментальные данные по выходу нейтронов весьма неточны, а для ряда элементов, расчёты для которых приводятся в теоретических работах ^{/1,2,3/}, вообще нет экспериментальных данных. Наиболее полно разработана теория мю-захвата в ^{16}O , ^{32}S и ^{40}Ca . Для сравнения теории с экспериментом наиболее подходящими являются легкие элементы, в частности ^{16}O .

В настоящей работе был измерен выход нейтронов (на один акт мю-захвата) при мю-захвате в кислороде, сере, кальции и свинце.

Средняя эффективность регистрации нейтронов была рассчитана при использовании спектров нейтронов из работы ^{/4/} и данных по зависимости сечения упругого рассеяния нейтронов на протонах в стиробене от энергии нейтронов и порога регистрации ^{/5/}. По известному энергетическому спектру нейтронов ^{/4/} определялся относительный вес каждого энергетического интервала (шириной 0,5 Мэв) и вычислялась средняя эффективность регистрации нейтронов $\bar{\epsilon}$ в определенном энергетическом интервале. Затем тем же детектором в условиях хорошей геометрии, которая позволяет с достаточной точностью (около 3%) вычислить телесный угол детектора относительно мишени, по нескольким часам на каждом элементе измерялось число протонов отдачи и при

использовании $\bar{\epsilon}$ -средней эффективности определялось число нейтронов, попадающих в нейтронный счётчик.

Выход нейтронов определялся по следующей формуле:

$$\bar{n} = \frac{N_p / \bar{\epsilon}}{W N_{\text{ост}}} \frac{4r}{\Omega} \frac{1}{e^{-\tau_1/r} (1 - e^{-\tau_2/r})}$$

где N_p - число зарегистрированных протонов отдачи за вычетом фона, $\bar{\epsilon}$ - средняя эффективность регистрации нейтронов в конкретном энергетическом интервале, $W_{\text{зах.}}$ - вероятность захвата мюона в данном элементе, $N_{\text{ост.}}$ - число остановок мю-мезонов в мишени, $\Omega / 4r$ - телесный угол нейтронного детектора относительно мишени, r - время жизни мезона в данном веществе, τ_1 - охранный интервал в нейтронном канале (см. ниже), τ_2 - временной интервал регистрации нейтронов (длина ворот).

Для вычисления телесного угла использовались результаты работы /6/ с интегрированием по толщине мишени и нейтронного детектора.

Измерения

Настоящая работа выполнена на чистом мюонном пучке, полученном с помощью мезонного канала /7/ синхроциклотрона на 680 Мэв в Дубне.

Схема установки показана на рис. 1. При измерениях со свинцом стильбеновый кристалл и мишень располагались таким образом, чтобы ось пучка проходила по центру мишени и кристалла параллельно их осям, для других мишеней - перпендикулярно этим осям. В измерениях использовались мишени $O(H_2O)$, S , Ca и Pb (естественная смесь изотопов) диаметром 30 мм и толщиной соответственно 40, 20, 20 и 10 мм.

Внешний мюонный пучок, имеющий импульс 150 Мэв/с, проходил через мониторирующие счётчики (1) и (2), замедлялся в графитовом фильтре и останавливался в мишени. Совпадения 1234 определяли число остановок в мишени. В качестве нейтронного детектора использовался кристалл стибьена (диаметром 30 мм и толщиной 20 мм). Детектор нейтронов был включен на антисовпадения со счётчиком (4). Для разделения нейтронов и γ -квантов применялся метод дискриминации по форме импульса /8/. В нейтронном канале и в канале выделения остановок мюонов использовалась охранная система, запрещающая прохождение импульсов, если расстояние между ними во времени было меньше 6 мксек. При рабочей интенсивности пучка охранная система позволяла регистрировать около 90% нейтронов из реакции мю-захвата. Электронная логика была такова, что нейтроны регистрировались в течение двух мксек (длина ворот), спустя 0,02 мксек после остановки мюонов. Длина ворот была определена с большой точностью (с ошибкой меньше чем 1%) по счёту случайных совпадений. 4096-канальный амплитудный анализатор, работающий в двухмерном режиме (по одной оси - спектр γ -разделения, по другой - энергия протонов отдачи), запускался совпадением во времени импульсов нейтронного детектора и импульсов мю-остановок.

Для определения степени однородности плотности мю-остановок в мишенях проводилось измерение числа мю-остановок при перемещении мишени в плоскости, перпендикулярной оси пучка, в пределах 6 см. В этой плоскости плотность остановок оказалась одинаковой в пределах 3-5%. Поправка на распределение плотности остановок вдоль оси пучка, максимальная в случае мишени из свинца толщиной 10 г/см, оказалась при вычислении телесного угла несущественной.

Фон, измеренный с LiH в качестве мишени, был равен \approx 50% в случае кислорода, \approx 6% в случае серы и кальция, \approx 1% в случае свинца.

Энергетическая калибровка нейтронного спектрометра осуществлялась с помощью стандартных радиоактивных γ -источников и источника нейтронов $Po - Be$.

Результаты и обсуждение

Измерения абсолютного выхода нейтронов при μ -захвате в сере, кальции и свинце дали возможность сравнить экспериментальные данные по нейтронным спектрам, полученным ранее в работах ^{/4,9/}. На рис. 2, 3 и 4 приведены эти спектры в абсолютных единицах при выбранной шкале с интервалом 0,25 Мэв. На спектрах из работы ^{/4/} показана только статистическая ошибка, ошибка определения абсолютного выхода не приведена. На рисунках в нескольких точках дано энергетическое разрешение. Треугольники с цифрой 1 показывают энергетическое разрешение для спектра из работы ^{/4/}, а треугольники с цифрой 2 - разрешение для спектра из работы ^{/9/}. Как видно из рисунков, в области перекрывания в пределах ошибки спектры из работы ^{/4/} и из работы ^{/9/} хорошо согласуются.

Результаты, полученные нами, а также другие экспериментальные и теоретические данные приведены в таблице. Во втором столбце представлен выход нейтронов, который определялся непосредственно в измерениях. В третьем столбце дан выход нейтронов в более широком энергетическом интервале, который был определен после построения энергетического спектра нейтронов в абсолютных единицах по известным значениям абсолютного выхода на некотором его участке. В последней графе третьего столбца приведен выход нейтронов при μ -захвате в Pb в интервале (0 - 10) Мэв, определенный путем продолжения спектра в область малых энергий по формуле из работы ^{/10/}.

В четвертом столбце представлен интегральный выход нейтронов, полученный суммированием по всему спектру, показанному на рис. 2,3 и 4. В области перекрывания спектров из работы /4/ и из работы /9/ бралось среднее арифметическое.

В пятом столбце таблицы находятся значения выхода нейтронов, вычисленные нами по результатам работы /11/, поскольку в этой работе экспериментально определялись только некоторые функции вероятности вылета одного, двух и т.д. нейтронов. (В случае серы учтены функции F_0 и F_1 , а в случае свинца - F_0 , F_1 и F_2).

В шестом столбце таблицы представлен выход нейтронов, рассчитанный нами по данным работы /12/, в которой экспериментально определялась скорость парциального захвата μ^- -мезонов ^{32}S и ^{40}Ca путем измерения интенсивности γ -переходов из возбужденных состояний ядер - продуктов реакций мю-захвата. По данным работы /12/, ядро ^{31}P , получающееся от мю-захвата в ^{32}S с испусканием нейтрона, образуется в состояниях с энергией возбуждения в основном не больше 3,5 Мэв ($I = 3/2^+$, $5/2^+$, $3/2^+$); возбуждение более высоких уровней, как показано в работе /12/, составляет всего лишь несколько процентов. Ввиду того, что в работе /12/ однозначно не выделены линии, относящиеся к ^{31}P , можно дать верхний предел для вероятности образования ^{31}P в первых трех возбужденных состояниях. Для случая мю-захвата в ^{40}Ca по работе /12/ можно дать только нижний предел для образования ядра ^{39}K . ^{39}K образуется практически только в первом возбужденном состоянии.

В седьмом столбце дан выход нейтронов, определенный исходя из расчетов /1/ по резонансной модели ядерного мю-захвата. В случае ^{40}Ca дан выход нейтронов во всем энергетическом интервале. В случае ^{16}O мы использовали данные из работы /2/, в которой были рассчитаны относительные вероятности перехода из квазисвязанных возбуж-

денных состояний ^{16}N в различные состояния ^{15}N . Положение рассчитанных в работе ^{/2/} возбужденных уровней ^{16}N хорошо согласуется с экспериментами по фотопоглощению. Так как в работе ^{/2/} не учтена вероятность перехода в основное состояние ^{16}N , то эти данные невозможно прямо сравнить с экспериментом. Поэтому из данных работы ^{/2/} мы определили только отношение вероятности выхода нейтронов в той энергетической области, в которой мы измеряли выход нейтронов, к полной вероятности вылета нейтронов. Используя значение полной вероятности выхода нейтронов приведенное в работе ^{/1/}, мы получили ту величину (см. седьмой столбец таблицы), которую можно сравнить с нашими экспериментальными данными.

В восьмом столбце дан выход нейтронов, определенный исходя из расчётов ^{/3/} по прямой модели мю-захвата.

З а к л ю ч е н и е

1. Измерен абсолютный выход нейтронов (на один акт мю-захвата) при мю-захвате в кислороде в интервале энергии от 2,5 до 7,5 Мэв, $\bar{n} = 0,526 \pm 0,068$; сере - от 1,5 до 10 Мэв, $\bar{n} = 0,414 \pm 0,035$; кальция - от 2 до 10 Мэв, $\bar{n} = 0,263 \pm 0,033$; свинце - от 2 до 7 Мэв, $\bar{n} = 0,536 \pm 0,031$.

2. Измерение в данной работе абсолютного выхода нейтронов от мю-захвата в сере, кальции и свинце позволило сопоставить данные работ ^{/4/ /9/} по спектрам. Из рисунков 2,3,4 следует, что в области перекрывания данные этих исследований согласуются в пределах ошибки.

3. Результаты нашей работы по выходу нейтронов для случая серы, кальция и свинца не противоречат данным ^{/11,12/}.

4. В случае мю-захвата в кислороде имеет место количественное согласие между полученным нами значением выхода нейтронов и предсказанием резонансной модели ядерного мю-захвата^{/1/}.

Л и т е р а т у р а

1. В.В. Балашов, Р.А. Эрамжян. Препринт ОИЯИ, P2-3258, Дубна, 1967.
2. H. Überall. Acta Physica Austriaca, 30, 89 (1969).
3. Э.И. Долинский, Л.Д. Блохинцев. ЖЭТФ, 35, В6 (12), 1489 (1958).
4. V.Evseyev, T. Kozlowski, V. Roganov, J. Wojtkowska. Phys.Lett., 228, 558 (1969); Proc. III Conf. on High Energy Phys. and Nucl. Structure. Plenum Press, N-Y-L., 1970, p. 157.
5. Б.В. Рыбаков, В.А. Сидоров. Спектрометрия быстрых нейтронов. Атомиздат, Москва, 1958.
6. J. Konijn and Tollander. Actiebolaget atomenergi, Stockholm, Sweden, 1963.
7. В.Г. Варламов, Ю.М. Грашин, А.В. Демьянов, Б.А. Долгошеин, Е.С. Роганов. Препринт ОИЯИ, 1-4084, Дубна, 1968.
8. T. Kozlowski. Nukleonika, XIII, 999 (1968).
9. M.H. Krieger. Ph.D.Thesis Columbia University (1969).
10. Под ред. П.М. Эндта и М. Демера. Ядерные реакции, т. 1, 325, Атомиздат, Москва, 1962.
11. B. Macdonald, J.A. Diaz, S.N. Kaplan, R.V. Pyle. Phys.Rev., 139, B1253 (1965).
12. T.A.E.C. Pratt. Nuovo Cimento, 61B, 1, 119 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел

17 декабря 1970 года.

ТАБЛИЦА

Выход нейтронов из реакции мю-захвата в O, S, Ca, P_В (на один акт мю-захвата)
в интервале энергий нейтронов ΔE_n (МэВ)

I	2	3	4	5	6	7	8
O ΔE_n	$0,526 \pm 0,068$ (2,5-7,5)					0,68 (2,5-7,5)	0,003 (2,5-7,5)
S ΔE_n	$0,414 \pm 0,035$ (1,5-10)	$0,447 \pm 0,046$ (1,5-12,75)	$0,573 \pm 0,065$ (1,5-49)		$< 0,54^*$		
Ca ΔE_n	$0,263 \pm 0,033$ (2 - 10)	$0,296 \pm 0,042$ (2 - 13)	$0,367 \pm 0,07$ (2 - 50)	$0,706 \pm 0,10$	$> 0,27$	0,706	
P _В ΔE_n	$0,536 \pm 0,031$ (2 - 7)	$\sim 1,77$ (0 - 10)	$\sim 1,86$ (0 - 52)	$1,636 \pm 0,343$			

* Этот предел относится только к образованию ^{31}P в возбужденном состоянии.

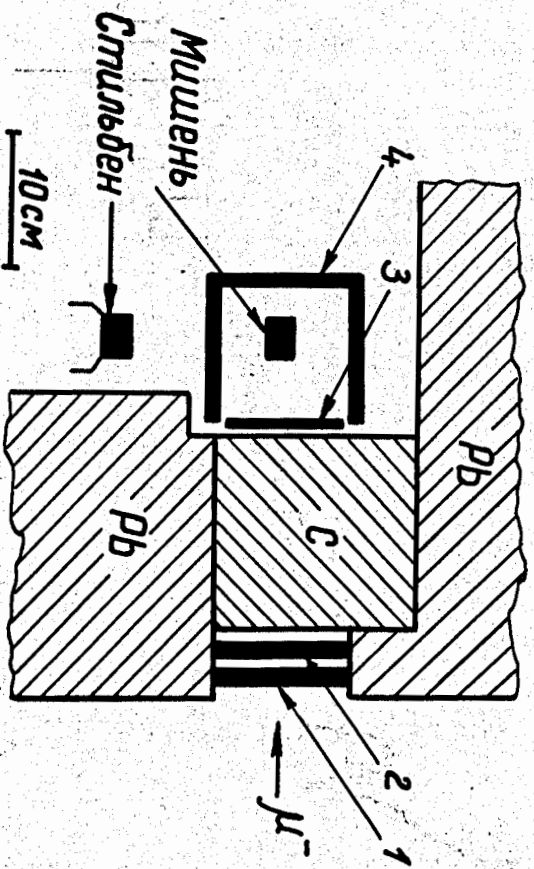


Рис. 1. Схема расположения аппаратуры на пучке.

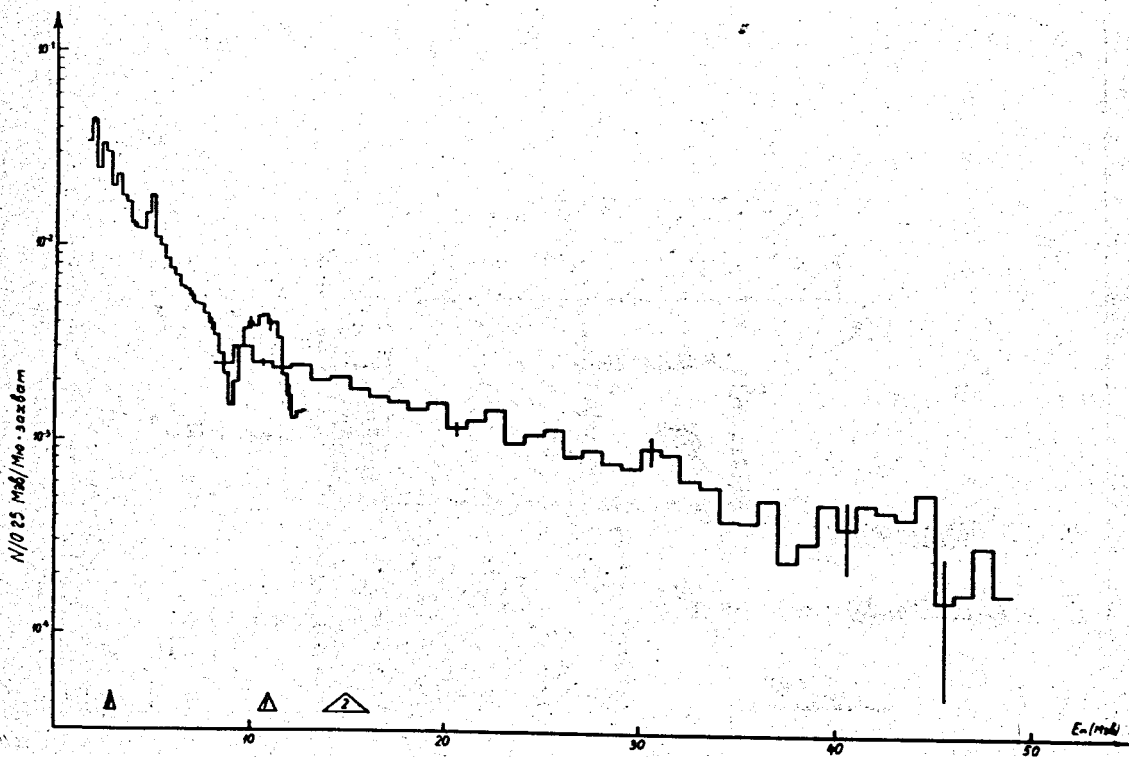


Рис. 2. Энергетические спектры нейтронов от мю-захвата в сере (по сравнению с данными работы/4/ на этом рисунке в области $E_n < 5,75$ Мэв произведено усреднение с интервалом 0,25 Мэв). Данные работы/4/ - в интервале от 1,5 до 12,75 Мэв, данные работы/9/ - в интервале от 8 до 49 Мэв.

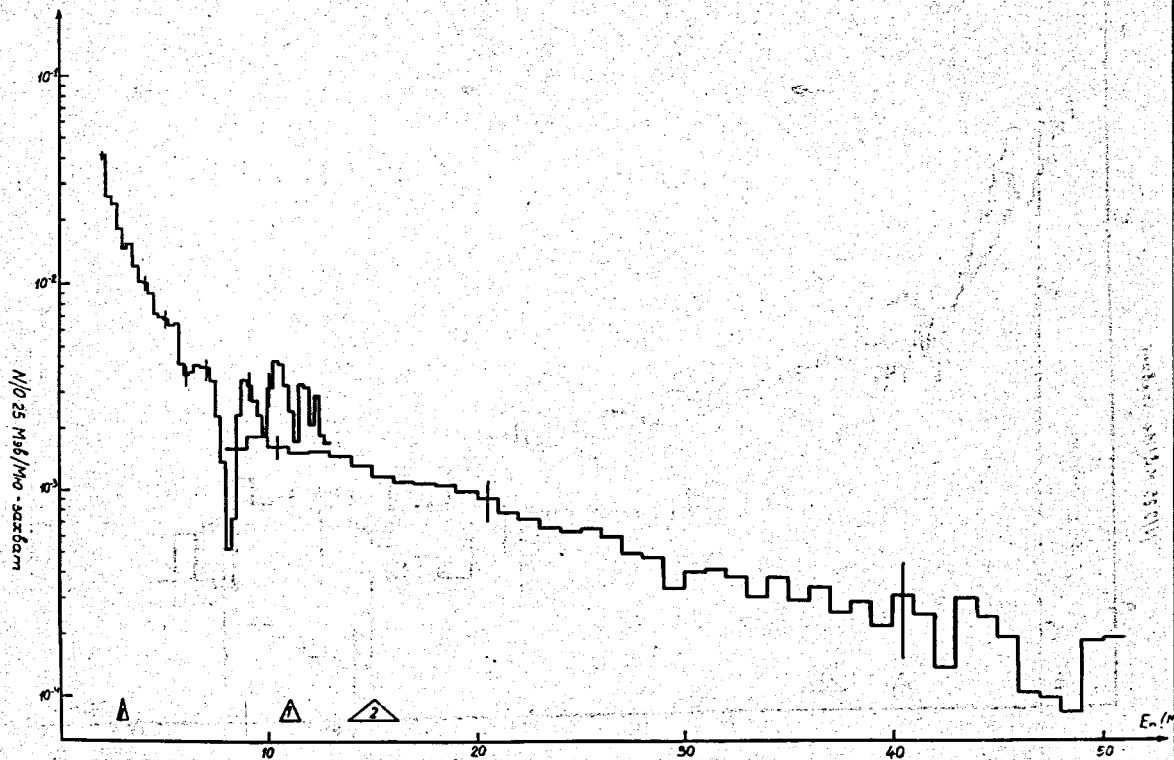


Рис. 3. Энергетические спектры от мю-захвата в кальции. Данные работы/4/ - в интервале от 2 до 13 Мэв, данные работы/9/ - в интервале от 8 до 51 Мэв.

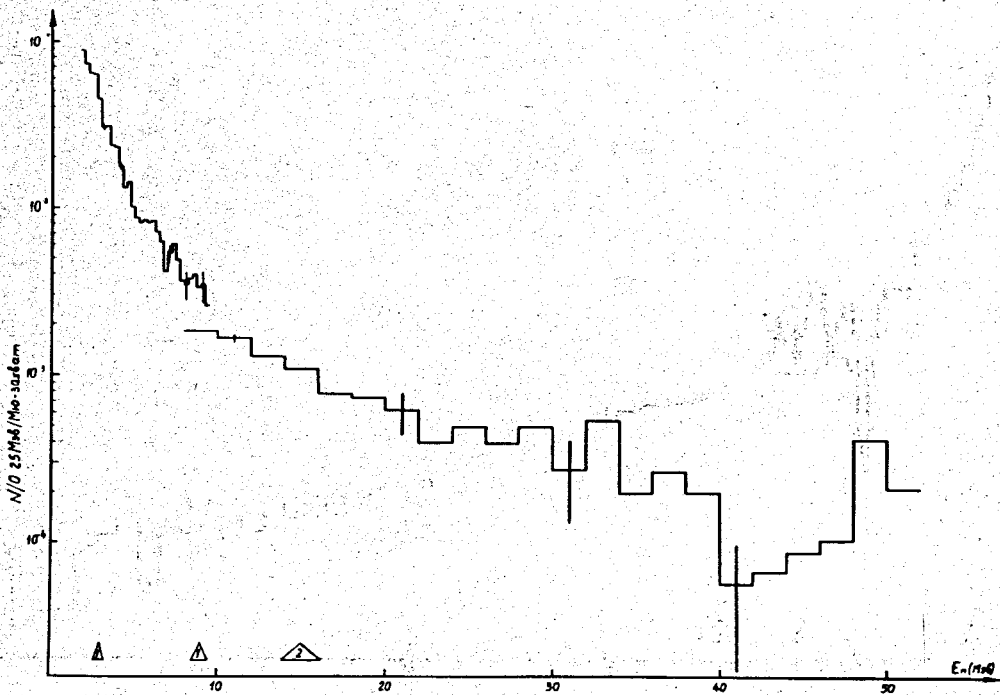


Рис. 4. Энергетические спектры от мю-захвата в свинце. Данные работы/4/ - в интервале от 1,75 до 9,5 Мэв, данные работы/9/ - в интервале от 8 до 52 Мэв.