

B-67

1273



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В.В. Волков, Л. Поморский, Я. Тис, Я. Вильчински

P-1273

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ПЕРЕДАЧИ
ДВУХ НЕЙТРОНОВ
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИЗОТОПОВ ЦИРКОНИЯ Zr^{90} , Zr^{92} и Zr^{94}
ИОНАМИ N^{16}

жестф, 1963, т45, №4, с 897-903 .

Дубна 1963

Волков В.В., Поморский Л., Тис Я., Вильчински Я. P-1273

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИЙ ПЕРЕДАЧИ 2-Х НЕЙТРОНОВ ПРИ
ОБЛУЧЕНИИ РАЗДЕЛЕННЫХ ИЗОТОПОВ ЦИРКОНИЯ
ИОНАМИ N^{15}

Мишени из разделенных изотопов циркония Zr^{90} , Zr^{92} и Zr^{94} облучались ускоренными ионами N^{15} на внутренней пучке циклотрона тяжелых ионов ОИЯИ. Цель эксперимента состояла в исследовании влияния структуры ядра на вероятность передачи двух нейтронов. Эффективные сечения реакций измерялись с помощью запаздывающей нейтронной активности ядер N^{17} . Измерения проводились в интервале энергий ионов N^{15} - 70-120 Мэв (Лаб). Полученные в эксперименте отношения сечений передачи 2-х нейтронов при облучении мишени из Zr^{94} , Zr^{92} и Zr^{90} меняются соответственно от 17 : 6 : 1 при энергии ионов N^{15} , равной 60 Мэв в С.Ц.М. до 6:4:1 при энергии 100 Мэв в С.Ц.М.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.

Дубна. 1963.

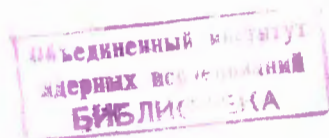
P-1273

Volkov V.V., Pomorski L., Tys J., Wilczynski J., 'Some Investigations of Two-Neutrons Transfer Reactions in Bombardment of Isotopes Zr^{90} , Zr^{92} and Zr^{94} with N^{15} Ions'.

The Zr^{90} , Zr^{92} and Zr^{94} separated isotopes targets were bombarded with N^{15} ions, on internal beam of JINR the heavy ions cyclotron. The purpose of the experiment was the investigation of the dependence of the probability of two neutrons transfer on the nuclear structure. Effective cross sections were measured by means of the delayed neutron activity of N^{17} nuclei in the bombarding ions energy interval 70-120 Mev (Lab. syst.) The obtained ratios of the cross sections for the two neutrons transfer from Zr^{94} , Zr^{92} , Zr^{90} to N^{15} , were 17:6:1 and 6:4:1 for the N^{15} ions energy 60 and 100 Mev (in C.M.S.) respectively.

Preprint Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna. 1963.



x/ Институт ядерной физики. Краков, Польша.

xx/ Институт ядерных исследований. Варшава, Польша.

xxx/ Ягеллонский Университет. Краков, Польша.

В.В. Волков, Л. Поморский^{х/}, Я. Тыс^{хх/}, Я. Вильчински^{ххх/}

1953/2 48.
ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ПЕРЕДАЧИ
ДВУХ НЕЙТРОНОВ
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИЗОТОПОВ ЦИРКОНИЯ Zr^{90} , Zr^{92} и Zr^{94}
ИОНАМИ N^{18}

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

^{х/} Институт ядерной физики. Краков, Польша.

^{хх/} Институт ядерных исследований. Варшава, Польша.

^{ххх/} Ягеллонский Университет. Краков, Польша.

1. Введение

В физике тяжелых ионов большой интерес представляет изучение реакций передачи нуклонов, возникающих при касательном столкновении двух ядер. Экспериментальные результаты по угловому распределению ^{/1,2/} и некоторые теоретические оценки ^{/3,4/} показывают, что реакции передачи происходят в сравнительно тонком слое вблизи поверхности ядра. Можно думать поэтому, что их изучение даст полезную информацию о структуре поверхности ядер, состояниях и корреляциях периферийных нуклонов. Наиболее резко изменяется структура поверхности ядра при переходе от ядра с замкнутой оболочкой к ядрам, у которых сверх оболочки находится небольшое число нуклонов. В связи с этим изучение реакций передачи в области магических чисел особенно интересно.

В настоящей работе изучалась передача двух нейтронов от ядра мишени к налетающему ядру в районе замкнутой нейтронной оболочки с магическим числом 50. Разделенные изотопы циркония $^{90}_{40}\text{Zr}$, $^{92}_{40}\text{Zr}$ и $^{94}_{40}\text{Zr}$ (первый из них имеет замкнутую нейтронную оболочку, а следующие — два и четыре нейтрона сверх нее) облучались ускоренными ионами N^{15} . Измерялось эффективное сечение реакции в интервале энергий ионов 70–120 Мэв.

Подхват двух нейтронов налетающим ядром наблюдался впервые на толстых мишенях в работах ^{/5,6/}. Эффективные сечения этой реакции при облучении алюминия, меди и тантала ионами N^{15} были измерены в широком интервале энергий в нашей работе ^{/7/}.

Методика эксперимента

Эксперименты проводились на внутреннем пучке циклотрона тяжелых ионов ОИЯИ. Общий вид расположения пробника внутри машины показан на рис. 1. Как и в предыдущих наших работах ^{/7,8,9/}, использовалась методика, при которой в качестве конечного продукта реакции регистрировались ядра N^{17} , являющиеся эмиттерами запаздывающих нейтронов ($T_{1/2} = 4,15$ сек). Регистрация N^{17} позволяет надежно избавиться от фона, создаваемого другими продуктами реакции. По сравнению с ранее описанной аппаратурой ^{/7/} в настоящем эксперименте применялась более усовершенствованная аппаратура. За счёт увеличения числа счётчиков с обогащенным бором была повышена чувствительность детектора нейтронов, введен контроль энергии ионов, поставлен лучший временной анализатор.

Детектор нейтронов (рис. 2) представлял собой блок из плексигласового замедлителя, в котором размещалось 16 пропорциональных счётчиков с обогащенным бором. Блок размерами 140x250x440 мм находился в медном кожухе, охлаждаемом водой. Поскольку все счётчики имели одинаковые счётные характеристики, они были соединены параллельно и подключены к одному источнику высокого напряжения. Высокое напряжение и коэффициент радиотехнического усиления выбирались таким образом, чтобы исключить возможность регистрации γ -квантов и влияние радиотехнических наводок. Эффективность детектора,

измеренная с образцовым источником ($Ra + Be$) $H-26^{10/}$, помещенным в место расположения мишени, составила 0,45%.

Облучаемая мишень располагалась в передней части детектора нейтронов; за ней находились коллектор тока и устройство для измерения энергии (рис. 3).

Энергия ионов N^{15} измерялась с помощью поверхностно-барьерного детектора. Часть пучка ионов, выделенная специальным коллиматором, попадала на золотую рассеивающую фольгу, толщиной $7,3 \text{ мг/см}^2$. Диафрагма перед полупроводниковым детектором с отверстием $0,5 \text{ мм}$ выделяла ионы, рассеявшиеся в золотой фольге под углом 20° к направлению пучка. Вблизи детектора помещался тонкий источник ThC' , испускавший α -частицы с энергией $8,78 \text{ Мэв}$. Энергия ионов определялась путем сравнения амплитуд импульсов, создаваемых в детекторе ионами и α -частицами, с учетом потерь энергии в золотой фольге.

Блок-схема электронной аппаратуры показана на рис. 4. Импульс, возникавший в любом из счётчиков, поступал на общий катодный повторитель, размещенный в блоке детектора нейтронов, и далее - на линейный усилитель и дискриминатор. После дискриминации импульсы поступали параллельно на пересчётку и временной анализатор. Временной анализатор состоял из конвертора время-амплитуда и 100-канального амплитудного анализатора. В наших опытах мы использовали 30 каналов анализатора при цене канала одна секунда.

Импульс с детектора энергии поступал на линейный усилитель и далее на 100-канальный амплитудный анализатор. Одновременно на вход усилителя подавались калибровочные импульсы от генератора точных амплитуд. Таким путем удалось исключить влияние нелинейности усилителя и точно сравнить амплитуды от α -частиц и ионов N^{15} .

Циркониевые мишени были изготовлены из двуокиси циркония. Тонко измельченный порошок ZrO_2 осаждался на алюминиевую подложку из водного раствора сахара, который использовался в качестве связки. После высыхания мишени прокаливались, при этом сахар разлагался и в мишени оставалось лишь небольшое количество углерода. Слой окиси циркония имел толщину $\sim 80 \text{ мг/см}^2$ и занимал площадь $45 \times 15 \text{ мм}$. В мишенях были сделаны отверстия, через которые часть ионов (10%) попадала на коллектор тока. Помещенная за мишенью углеродная фольга задерживала однозарядные ионы. Коллектор тока состоял из медной пластинки, охлаждаемой водой, и графитовой накладки, которая позволяла уменьшить выход N^{17} с коллектора. Из проведенных нами ранее опытов было известно, что выход N^{17} при облучении графита ионами N^{15} мал. Изотопный состав мишеней представлен в таблице 1. Поскольку в мишени кроме циркония входили кислород и углерод, нужно было определить вклад от этих элементов. С этой целью облучались мишени из Al_2O_3 , Al и C -ионами N^{15} .

Во время эксперимента циклотрон работал в импульсном режиме. Так как период полураспада N^{17} равен $4,15 \text{ сек}$, мишень облучалась в течение 30 секунд для достижения насыщения. Затем снималось высокочастотное напряжение на дуантах и в течение 30 секунд измерялся выход N^{17} . Импульсы с детектора нейтронов регистрировались одновременно пересчётным прибором для определения выхода и временным анализатором для определения периода полураспада. Для каждого значения энергии ионов проводилось 4 цик-

ла облучения. Энергия ионов изменялась за счёт перемещения пробника внутри машины и установки мишени на различное расстояние от центра циклотрона. Измерение энергии проводилось в каждой позиции с точностью 3-5%. Перед экспериментом и во время эксперимента контролировалась счётная характеристика нейтронного детектора.

Интенсивность пучка ионов N^{15} , измерявшаяся интегратором тока, ограничивалась обычно несколькими десятками микроампера. При этом на цикл для циркониевых мишеней регистрировалось от нескольких сот импульсов при малой энергии до десяти тысяч - при большой. Фон детектора нейтронов составлял в среднем 20 импульсов в минуту. Диапазон изменения энергии ионов определялся, с одной стороны, минимальным расстоянием от центра, до которого можно было вдвинуть пробник в циклотрон, с другой, - максимальным радиусом ускорения ионов N^{15} .

III. Результаты измерений

При облучении всех трех изотопов циркония, а также мишеней из Al , Al_2O_3 и C мы наблюдали запаздывающую нейтронную активность лишь с одним периодом полураспада. Этот период в пределах погрешности измерений совпадает с табличными данными для периода полураспада N^{17} . Типичная кривая распада нейтронной активности показана на рис. 5.

На рис. 6 представлены экспериментальные результаты, полученные для выхода N^{17} при облучении циркониевых мишеней, мишеней из алюминия, окиси алюминия и углерода. Эффективные сечения реакции были рассчитаны обычным методом дифференцирования кривых выхода. Однако в нашем случае этот расчёт осложнялся тем, что мишени имели сложный химический состав. Для одноизотопной мишени соотношение, связывающее эффективное сечение с выходом и тормозной способностью вещества мишени, имеет вид:

$$\sigma = \frac{dY}{dE} \cdot \frac{1}{\frac{dn}{dE}}, \quad (1)$$

σ - сечение реакции в $см^2$;

$Y(E)$ - выход реакции из толстой мишени на одну бомбардирующую частицу;

$n(E)$ - пробег ядер N^{15} в веществе мишени, выраженный в количестве атомов на $см^2$;

E - энергия ионов N^{15} в лабораторной системе координат.

Для наших циркониевых мишеней, имевших химический состав $ZrO_2 \cdot C_{1,7}$, это соотношение переходит в другое:

$$\sigma(Zr) + 2\sigma(O^{16}) + 1,7\sigma(C^{12}) = \frac{dY^*}{dE} \cdot \frac{1}{\frac{dn^*}{dE}}, \quad (2)$$

$\sigma(Zr)$, $\sigma(O^{16})$, $\sigma(C^{12})$ - сечения реакции образования N^{17} для Zr , O^{16} и C^{12} соответственно;

$Y^*(E)$ - выход реакции для мишени нашего состава;

$n^*(E)$ - пробег N^{15} в веществе нашей мишени в количестве молекул на $см^2$.

Таким образом, для расчёта сечения реакции на цирконии, кроме обычных величин Y

и n , необходимо было знать сечения образования N^{17} на кислороде и углероде. Эти сечения были рассчитаны по экспериментальным кривым выхода N^{17} на Al , Al_2O_3 и C . Тормозная способность мишеней была подсчитана по данным для атомарной тормозной способности Zr , O и C , которые вычислялись по формуле, приведенной в работе /11/.

Полученные эффективные сечения реакции передачи двух нейтронов при взаимодействии N^{15} с ядрами Zr^{90} , Zr^{92} и Zr^{94} в системе центра масс представлены на рис. 7.

Разброс экспериментальных точек на кривых выхода N^{17} связан главным образом с колебаниями интенсивности пучка во время циклов облучения. Погрешность относительных измерений, существенная при сравнении сечений на различных изотопах циркония, составляет 10%. Ошибки в определении абсолютной величины сечений достигают, по нашим оценкам, 40%. Они обусловлены точностью определения чувствительности детектора нейтронов. При оценке эффективных сечений изотопический состав мишени (см. таблицу 1) не учитывался.

IV. Обсуждение результатов

Сравнение сечений передачи 2-х нейтронов на Zr^{90} , обладающем замкнутой нейтронной оболочкой, с сечениями на Zr^{92} и Zr^{94} указывает на то, что вероятность передачи резко возрастает для нейтронов, находящихся сверх замкнутой оболочки. Действительно, добавление 2-х или 4-х нейтронов к Zr^{90} мало изменяет общее число нейтронов в ядре, тогда как сечение реакции возрастает во много раз. Этот факт может указывать на то, что нейтроны сверх замкнутой оболочки значительную часть времени проводят в поверхностном слое ядра.

Далее обращает на себя внимание большая величина сечения передачи 2-х нейтронов, достигающая в случае Zr^{92} и Zr^{94} десятков миллибарн. Эта величина близка и даже превышает известные сечения для передачи одного нуклона. Если оценить из углового распределения продуктов реакции геометрические размеры области вблизи поверхности ядра, в которой происходят однонуклонные передачи, мы получим величину порядка одного барна. Это означает, что вероятность передачи одного нуклона порядка одной сотой. Если бы два нейтрона из ядра Zr^{92} и Zr^{94} переходили в N^{17} независимо друг от друга, сечение реакции составило бы десятые доли миллибарна. Полученная величина сечения указывает на возможную передачу коррелированной пары нейтронов.

Сечение реакции на Zr^{94} примерно вдвое превышает сечение реакции на Zr^{92} . С точки зрения передачи коррелированной пары нейтронов, этот результат представляется естественным, так как вторая пара нейтронов в Zr^{94} находится в сходных квантовых состояниях.

Для анализа полученных данных целесообразно также построить кривые отношения сечений на различных изотопах в зависимости от энергии ионов. Такие кривые приведены на рис. 8;

Из рис. 4 видно, что различие в сечении реакции для различных изотопов растёт с уменьшением энергии ионов. Эту особенность в ходе сечений можно попытаться объяснить следующим образом. Реакции передачи возникают при поверхностных столкновениях двух ядер. Вне ядра, то-есть в той области, где на нейтрон не действуют другие ядерные частицы, волновая функция нейтрона содержит фактор $e^{-\alpha r / 12}$, причём в α кроме различных констант входит энергия связи нейтрона ($\alpha \sim E$ связи).

В таблице 2 приведены данные об энергиях связи 1-го и 2-го нейтрона в облучавшихся изотопах циркония. Мы видим, что эти энергии сильно различаются для нейтронов, входящих в замкнутую оболочку и находящихся вне ее. С другой стороны, чем меньше энергия налетающего иона, тем на большем расстоянии от ядра-мишени должен он пройти, чтобы не произошел захват с образованием компаунд-ядра. В результате, с уменьшением энергии ионов передача двух нейтронов будет происходить во все более удаленных областях ядерной поверхности, где вероятность нахождения сильно связанных нейтронов резко падает.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить глубокую благодарность члену корреспонденгу АН СССР Г.Н. Флерову за постоянный интерес к работе и ценные советы. Мы благодарны также группе эксплуатации циклотрона, обеспечившей чёткую, бесперебойную работу ускорителя.

Л и т е р а т у р а

1. R. Kaufmann, R. Wolfgang. Phys. Rev. 121, 192 (1961).
2. Г. Кумпф, Е.Д. Донец. Препринт ОИЯИ № 1071.
3. T. Kammuri. Progr. Theor. Phys. 28, 934 (1962).
4. В.Н. Калинин, Я. Грабовский. Препринт ОИЯИ Р-1238.
5. Д.Г. Алхазов, Ю.П. Гангрский, И.Х. Лемберг. ЖЭТФ, 33, 1160 (1957).
6. В.А. Карнаухов, Г.М. Тер-Акопьян, В.И. Хализов. ЖЭТФ, 36, 748 (1959).
7. В.В. Волков, Л. Поморский, Я. Тыс, Г.Н. Флеров. ЖЭТФ, 43, 865 (1962).
8. Г.Н. Флеров, В.В. Волков, Л. Поморский, Я. Тыс. ЖЭТФ, 41, 1363, (1961).
9. В.В. Волков, Л. Поморский, Я. Тыс, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ № 1192.
10. Г.А. Дорофеев, И.Е. Кутиков, А.М. Кучер. Атомная Энергия, 3, 328, (1957).
11. L.C. Northcliffe. Phys. Rev. 120, 1744 (1960).
12. G. Breit, M.H. Hull, R.L. Gluckstern. Phys. Rev. 87, 74 (1952).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 апреля 1963 года.

Т а б л и ц а 1
Изотопный состав мишени из циркония в %

Изотоп Мишень	90	91	92	94	96
$Zr^{90}O_2$	96,8	1,4	1,1	0,7	-
$Zr^{92}O_2$	4,4	4,4	83,6	2,4	0,2
$Zr^{94}O_2$	2,9	0,9	1,6	93,8	0,6

Т а б л и ц а
Энергия связи двух нейтронов и ζ реакции
в ядрах Zr^{90} , Zr^{92} и Zr^{94}

Изотоп		Zr^{90}	Zr^{92}	Zr^{94}
E_B	Мэв	23,3	15,8	14,9
Q	Мэв	-15,0	-7,5	-6,5

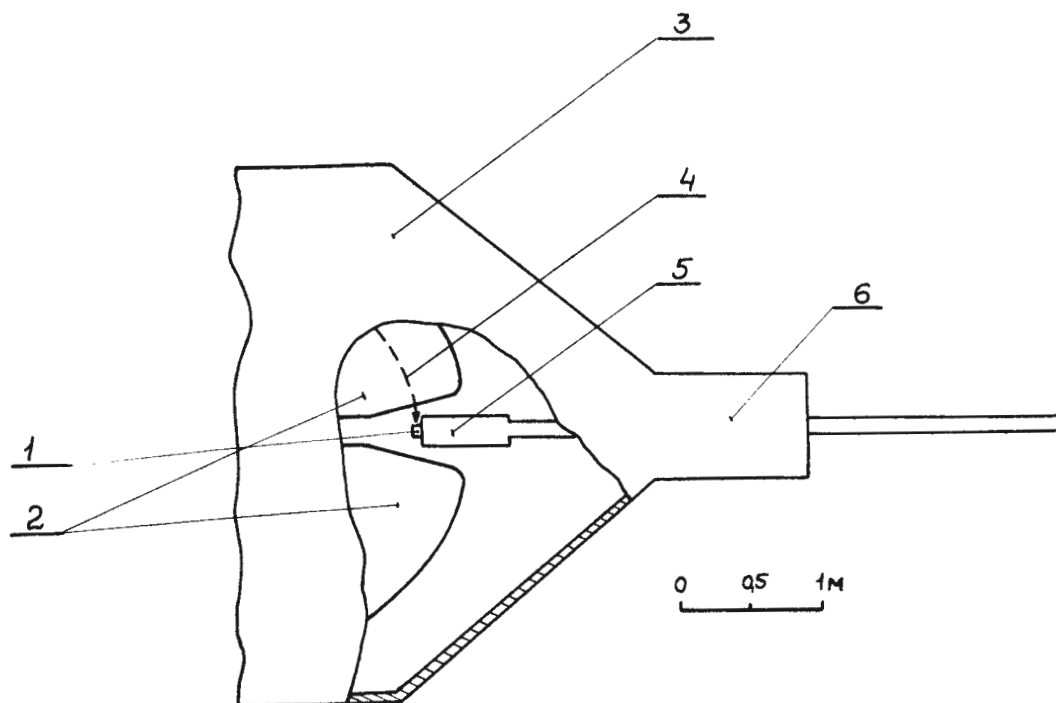


Рис. 1. Схема расположения пробника в циклотроне.
1. Мишень. 2. Дуанты циклотрона. 3. Камера циклотрона.
4. Пучок тяжелых ионов. 5. Детектор нейтронов. 6. Ваку-
умный шлюз камеры циклотрона.

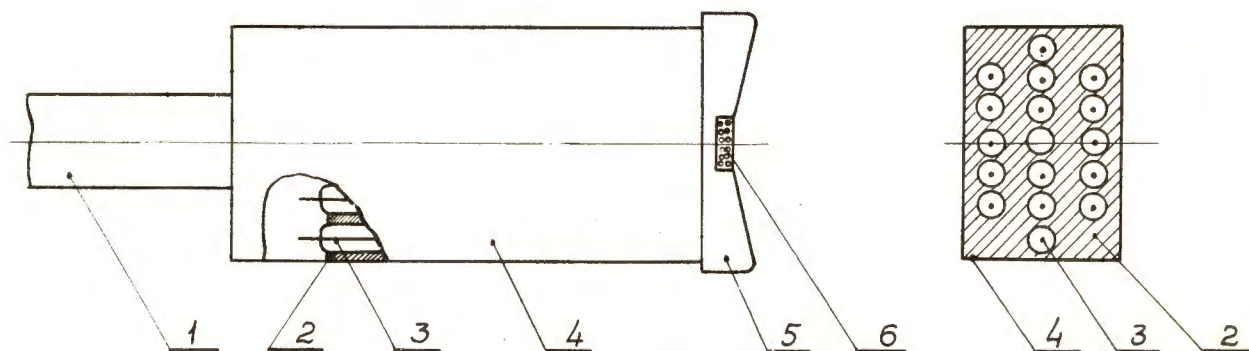


Рис. 2. Детектор нейтронов.
1. Шток пробника, 2. Плексигласовый замедлитель, 3. Счётчики с BF_3 ,
4. Медный кожух, 5. Диафрагма из графита, 6. Мишень.

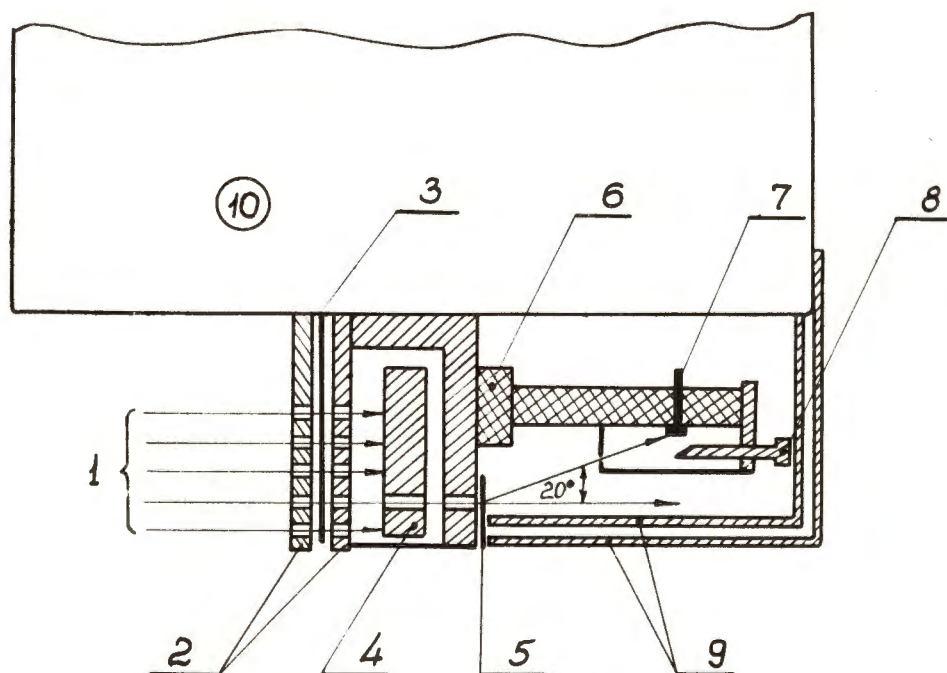


Рис. 3. Общий вид головки мишени и детектора энергии ионов.
1. Пучок ионов, 2. Мишень и решетка для пропускания ионов к коллектору тока, 3. Фольга для поглощения од-
нозарядных ионов, 4. Коллектор тока, 5. Золотая фольга-
рассеиватель ионов, 6. Держатель детектора энергии,
7. Детектор энергии, 8. Болт с источником α -частиц,
9. Защита.

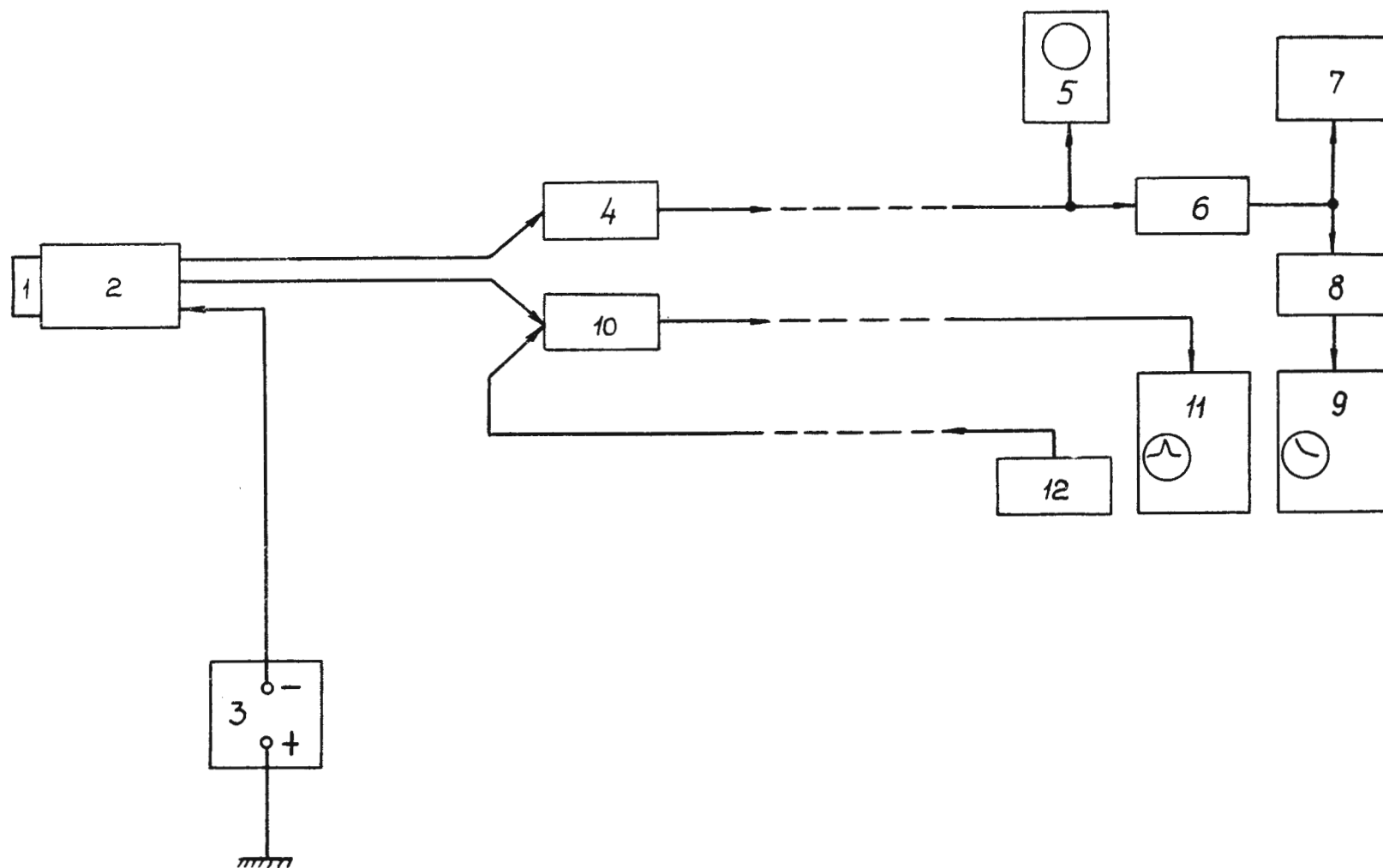


Рис. 4. Блок-схема электронной аппаратуры.

1. Мишень. 2. Нейтронный детектор. 3. Источник высокого напряжения. 4. и 10. Усилители. 5. Осциллоскоп. 6. Дискриминатор. 7. Пересчётный прибор. 8. Конвертор времени на амплитуду. 9 и 11. Стоканальные анализаторы амплитуды. 12. Генератор импульсов точных амплитуд.

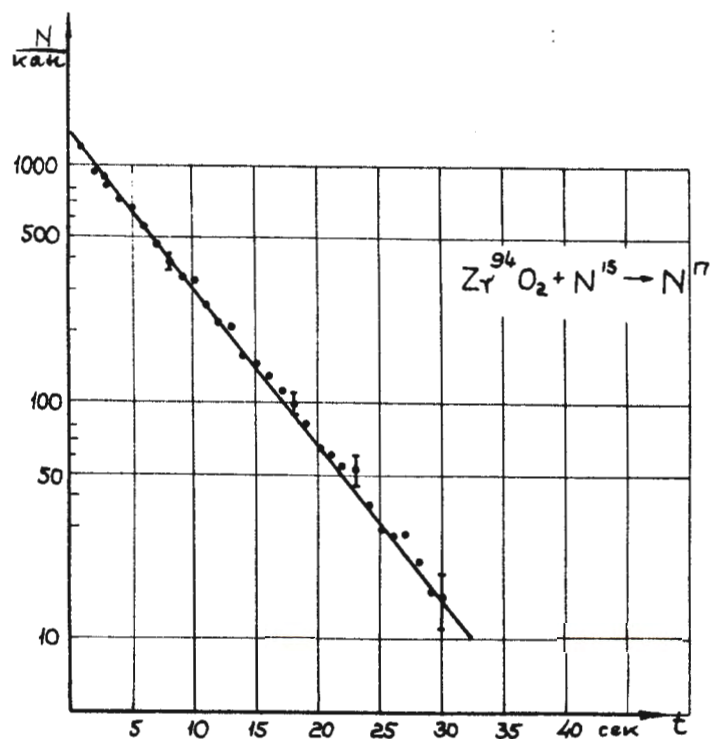


Рис. 5. Кривая распада нейтронной активности при облучении Zr^{94}O_2 ионами N^{15} .

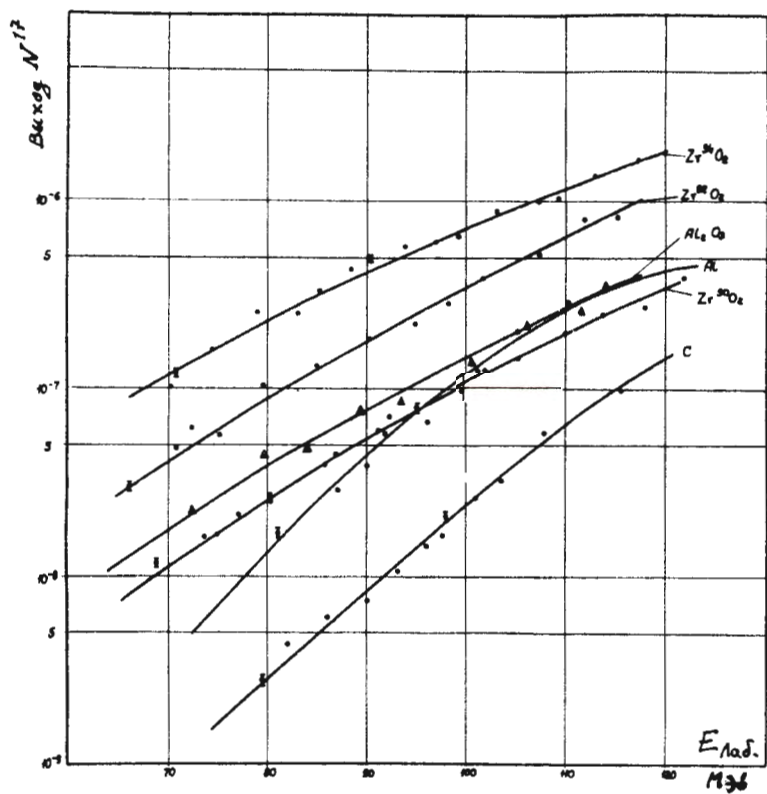


Рис. 6. Выход ядер N^{17} из толстых мишеней на одну падающую частицу.

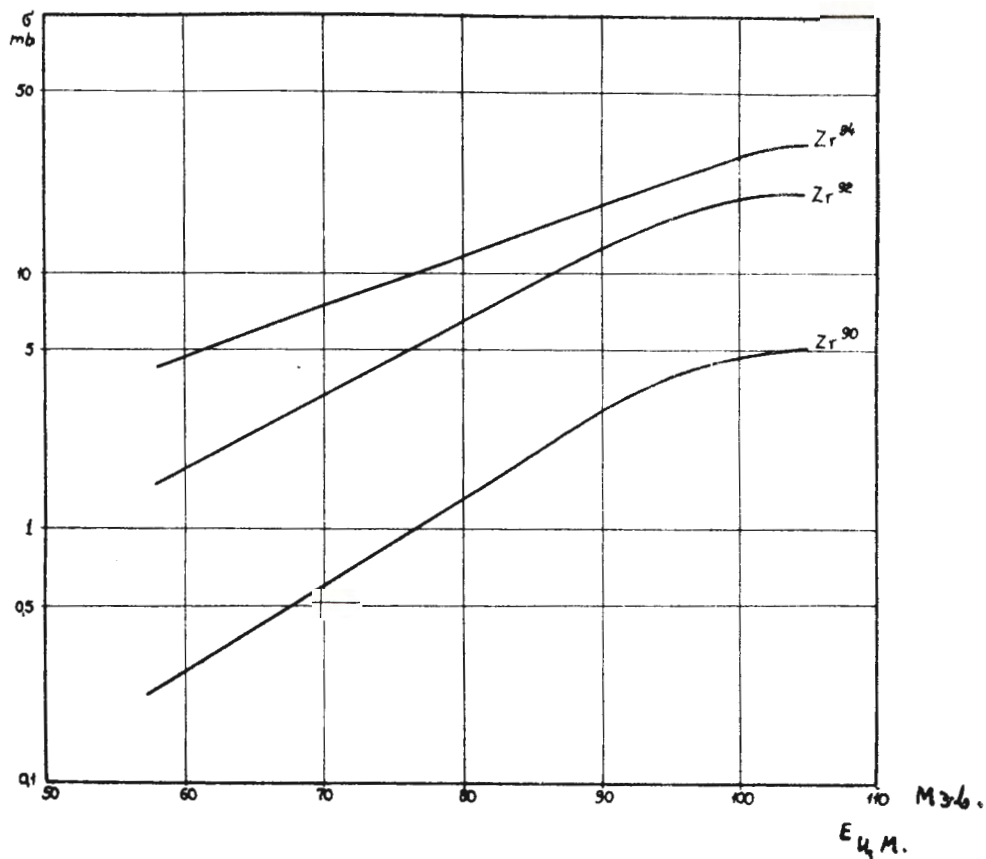


Рис. 7. Эффективные сечения реакции передачи 2-х нейтронов на изотопах циркония: Zr^{94} , Zr^{92} , Zr^{90} в с.п.м.

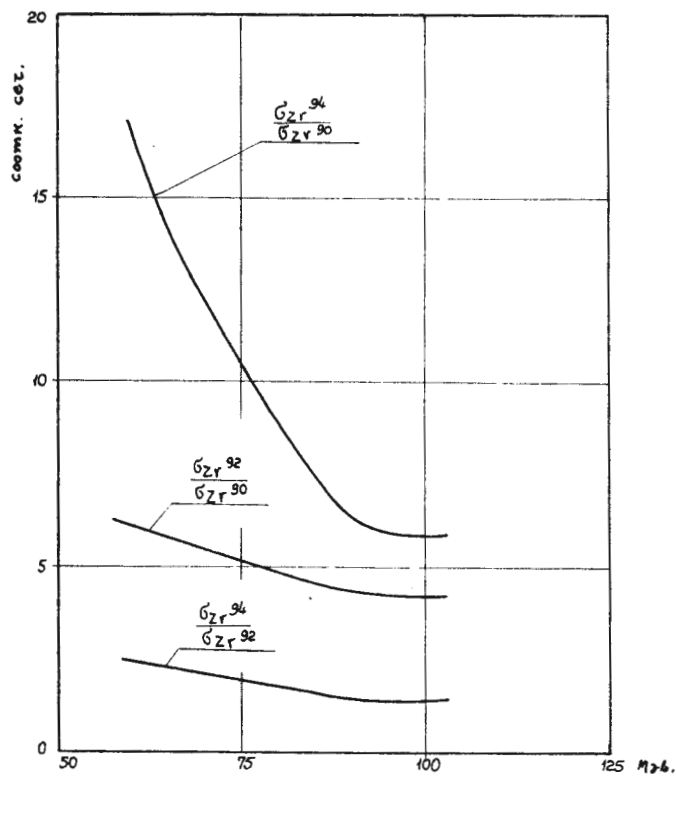


Рис. 8. Соотношения эффективных сечений в зависимости от энергии ионов N^{15} в с.п.м.