

С 343е

В-676

3/111-66

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 2965



В.В. Волков, Л. Поморски , Я. Тыс

АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ УГЛОВЫХ
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЯДЕР ^{17}N , ВОЗНИКАЮЩИХ
В РЕАКЦИЯХ ПЕРЕДАЧИ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1966

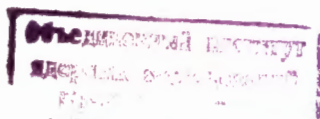
P13 - 2965

В.В. Волков, Л. Поморски* , Я. Тыс**

АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ УГЛОВЫХ
РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЯДЕР ^{17}N , ВОЗНИКАЮЩИХ
В РЕАКЦИЯХ ПЕРЕДАЧИ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

4621/1 пр.

-
- х) Институт ядерной физики, Краков, Польша.
xx) Институт ядерных исследований, Варшава, Польша.



1. Введение

Среди различных ядерных реакций, возникающих при взаимодействии тяжелых ионов с ядрами, большой интерес представляют реакции передачи, в которых от ядра к ядру передается один или несколько нуклонов. Передача нуклонов происходит при касательном столкновении налетающего ядра с ядром-мишенью, поэтому реакции такого типа обладают характерным угловым и энергетическим распределением: легкие продукты реакции передачи вылетают под углом, очень близким к углу Резерфордского рассеяния для касательной траектории, и сохраняют большую часть первоначальной энергии налетающих ионов. Эти особенности позволяют надежно выделить их среди продуктов реакций другого типа. Конечными продуктами реакции передачи могут быть как стабильные, так и радиоактивные ядра, поэтому для идентификации реакции используют различные методы.

В большинстве опубликованных работ для изучения реакции передачи использовался метод регистрации β и γ -излучения радиоактивных продуктов реакции. Однако в ряде случаев применение этого метода наталкивается на трудности из-за фона, создаваемого радиоактивными продуктами реакции, обладающими большим сечением. При регистрации стабильных продуктов их идентификация основана на одновременном измерении удельной ионизации и энергии частицы. К сожалению, при этом не всегда удается разделить отдельные изотопы данного элемента, особенно при передаче нейтронов, когда продукт реакции приходится выделять на фоне мощного пика упруго рассеянных частиц.

В наших работах /1,2/ был предложен метод выделения кванта реакции передачи путем измерения запаздывающих нейтронов, испускаемых ядрами ^{17}N . Как было показано в работах /3,4,5/, во всех случаях при облучении различных мишеней ионами ^{14}N , ^{15}N , ^{16}O , ^{20}Ne и ^{22}Ne образуются ядра ^{17}N . Это дает возможность исследовать таким методом многие типы реакции передачи. Основное преимущество этой

методики обусловлено уникальным характером запаздывающей нейтронной активности среди легких ядер, позволяющей надежно избавиться от фона, создаваемого радиоактивным распадом продуктов других реакций. В работах ^{13,6/} была описана экспериментальная аппаратура, использованная для измерения функции возбуждения при проведении экспериментов внутри циклотрона.

Настоящая статья содержит описание аппаратуры, предназначенной для работы на выведенном пучке. Установка, в состав которой входят реакционная камера, детектор нейтронов и электронная аппаратура, позволяет измерять дифференциальные сечения реакции передачи, а также дает возможность получать информацию об энергетическом спектре продуктов реакции. Общий вид установки показан на рис. 1. Эффективность регистрации нейтронов составляет обычно несколько процентов, поэтому необходима была такая конструкция реакционной камеры, которая обеспечивала бы максимальный сбор продуктов реакции, вылетевших под данным углом.

2. Реакционная камера

Реакционная камера представляет собой дюралевый цилиндр диаметром 200 мм и длиной 590 мм. Пучок ионов проходит вдоль оси камеры и попадает в цилиндр Фарадея. Коллимирование пучка осуществляется с помощью двух графитовых диафрагм, одна из которых с отверстием $\varnothing = 15$ мм расположена на входе камеры, другая с отверстием $\varnothing = 10$ мм на держателе мишени. Выбор графита в качестве материала диафрагм обусловлен малым сечением образования ¹⁷N на углероде. Мишень в виде тонкой металлической фольги крепилась между второй графитовой диафрагмой и медной плиткой держателя. Держатель имел в центре отверстие диаметром 15 мм. Внешние стенки держателя мишени имели конусообразную форму для обеспечения свободного вылета продуктов реакции. Держатель мишени можно было перемещать вдоль оси реакционной камеры при помощи длинного винта, расположенного параллельно оси камеры. Винт приводился во вращение через передачу от дистанционно управляемого мотора. При одном обороте двигателя мишень перемещалась на один миллиметр. Число оборотов двигателя регистрировалось счетчиком. По числу оборотов можно было установить мишень в определенную позицию, которая обеспечивала регистрацию продуктов реакции под заданным углом θ .

Продукты реакции - ядра ¹⁷N вылетали наружу через два кольцевых окошка шириной 15 мм, расположенные в передней и задней части реакционной камеры. Окошки заклеивались майларовой фольгой толщиной 15 мк, обеспечивавшей необходимый

вакуум в реакционной камере. Ядра ^{17}N свободно проходили через фольгу, теряя лишь небольшую долю своей энергии. С целью снижения механической нагрузки, вызванной атмосферным давлением, под майларовую фольгу подкладывалась стальная сетка с 2-миллиметровыми поперечными перепонками и 5-миллиметровым просветом между ними. Прозрачность окошка для собирания ядер ^{17}N составляла 60%. Переднее окошко позволяло проводить измерения в интервале углов $14-80^\circ$, заднее - $100-166^\circ$.

Прошедшие через окошки ядра ^{17}N собирались на резиновую ленту транспортера, который переносил их за 0,5 сек к детектору нейтронов (см. рис. 1).

Измерения под углами, меньшими чем 14° , выполнялись с использованием специального фланца, который устанавливался на торце реакционной камеры. Фланец имел заклеенное майларовой фольгой кольцевое окошко со средним диаметром 62 мм и шириной 13 мм, выполненное в виде решетки с круглыми отверстиями. Проницаемость окошка составляла 46%. Продукты реакции собирались на плоский полиэтиленовый сборник и с помощью "лифта" переносились к детектору (см. рис. 2). Коллектор тока ионов был расположен в середине фланца. Из-за трудностей с измерением абсолютного значения тока ионов для интервала углов от 4 до 24° проводились лишь относительные измерения, которые затем привязывались к абсолютным в диапазоне углов $14-24^\circ$.

Реакционная камера присоединялась к ионопроводу через сильфон большого диаметра, который обеспечивал высокий вакуум и позволял проводить нужную юстировку камеры.

Энергия пучка ионов измерялась кремниевым детектором, помещенным в передней части реакционной камеры. Во время измерений на пути пучка устанавливался тонкий золотой рассеиватель (толщиной $0,2 \text{ мг/см}^2$). Упруго рассеянные под углом 35° ионы попадали в детектор. Импульсы с детектора после усиления передавались на 512-канальный амплитудный анализатор. Абсолютное значение энергии пучка ионов получалось путем сравнения амплитуд импульсов от рассеянных ионов и α -частиц из Cm^{244} . С целью устранения влияния нелинейности усилителя амплитуды калибровались генератором точных амплитуд.

Детектор нейтронов

Детектор нейтронов представляет собой аксиально симметричную систему (см. рис. 1) из 24-пропорциональных счетчиков, наполненных BF_3 , с обогащением 87% по изотопу ^{10}B (счетчики типа NWI-52 польского производства). Счетчики располагались двумя кольцевыми слоями по 12 штук в каждом слое. В качестве замедлителя использовался парафин. Центральный цилиндрический канал детектора служил для

ввода сборников с ядрами ^{17}N . Для защиты детектора от фона запаздывающих нейтронов, создаваемых ядрами ^{17}N , остановившимися в реакционной камере, счетный объем блока детектора был защищен слоем кадмия и парафина толщиной 100 мм. С целью снижения фона от внешних источников нейтронов использовалась дополнительная защита детектора парафиновыми блоками.

Поскольку все счетчики имели практически одинаковые счетные характеристики, их катоды были соединены вместе и на них подавалось высокое напряжение. Величина напряжения (+2100 в) была подобрана так, чтобы исключить возможность регистрации γ -квантов. На рис. 3 показаны счетные характеристики детектора при регистрации нейтронов и γ -квантов. Естественный фон детектора составлял 8–10 импульсов в минуту. Во время измерений фон возрастал за счет нейтронов от распада ядер ^{17}N в самой реакционной камере и составлял 5% эффекта при максимальном выходе. Абсолютная эффективность детектора для регистрации запаздывающих нейтронов ^{17}N была определена с помощью калиброванного источника фотонейтронов ($^{24}\text{Na} + ^9\text{Be}$), энергетический спектр которых наиболее близок к спектру запаздывающих нейтронов ядер ^{17}N [7]. Определенная таким образом эффективность детектора составляла 7,3%. Для нейтронов от (Po + Be) и (Ra + Be) источников эффективность детектора составляла 4,1%. Как было показано в работах [8,9], детекторы нейтронов типа использованного в нашей аппаратуре обладают довольно вялой зависимостью эффективности от энергии нейтронов в интервале 0,1–2 Мэв.

Погрешность в определении эффективности детектора по нашим оценкам составляет 10%. На рис. 3б представлена зависимость эффективности от места расположения источника вдоль оси детектора. Видно, что эффективность меняется сравнительно медленно при смещении от центра. В нашем случае лента-сборник активности ядер ^{17}N при остановке занимала участок на 7 см вниз и вверх от центра детектора. Это дает уменьшение эффективности на 0,3%. Таким образом, для расчетов принималась абсолютная эффективность детектора 7,0%.

4. Измерения энергетических спектров ядер ^{17}N

С целью получения информации об энергетическом распределении ядер ^{17}N использовался метод, основанный на измерении пробегах продуктов реакции в тормозящем веществе. В интервале углов 4–24° измерения проводились с использованием торцевого окошка. Измерялся выход ^{17}N в зависимости от толщины поглотителя. В качестве поглотителя использовались тонкие майларовые или алюминиевые фольги толщиной 1,2 мг/см² и 1,7 мг/см² соответственно. Фольги вставлялись между окошком и полиэтиленовым сборником лифта. Обычно для данной толщины поглотителя делалось

3-4 цикла измерения эффекта и фона. Из кривых пробег-энергия определялась энергия ядер ^{17}N /10/ и рассчитывался энергетический спектр.

Измерения энергетического спектра для углов от $30-60^\circ$ проводились с помощью специальной приставки к реакционной камере в виде цилиндрического газового объема. Конструкция ее можно видеть на рис. 4. Газовый объем приставки соединялся с буферным объемом, на котором были установлены два натекателя и манометр. Через один натекатель подавался тормозящий газ, а другой соединялся с вакуумным насосом. Путем изменения давления в газовом объеме приставки изменялась толщина поглотителя. В качестве тормозящего газа использовался аргон. Ядра ^{17}N переносились к детектору в этом случае с помощью ленты так же, как и при измерении углового распределения (см. рис. 1).

5. Электронная и электромеханическая аппаратура.

Порядок проведения эксперимента

Блок-схема регистрирующей аппаратуры представлена на рис. 5. Импульс, возникающий в любом из счетчиков, поступал на транзисторный предусилитель, смонтированный в корпусе нейтронного детектора, затем по кабелю передавался на вход линейного усилителя с пороговым дискриминатором. Коэффициент усиления предусилителя равен 20, усилителя - 1500. После дискриминации импульсы регистрировались пересчетным прибором и параллельно могли поступать на временной анализатор для измерения периода полураспада. Временной анализатор представлял собой комбинацию 100-канального амплитудного анализатора и специальной приставки для замены времени на амплитуду. Визуальный контроль за работой аппаратуры проводился с помощью осциллографа, подключенного на выходе усилителя.

Электрическая схема электромеханической части аппаратуры показана на рис. 6а, б. Исключая включение и выключение напряжения высокой частоты на дуантах все остальные операции были автоматизированы. При включении высокой частоты ключом 1 напряжение от выпрямителя 27 подается на двигатель 17, перемещающий ленту. В момент, когда лента с активностью ^{17}N находится точно в середине детектора, реле времени 3а размыкает цепь и выключает двигатель (время транспортировки активности = 0,5 сек). В момент остановки ленты-сборника включается на 30 сек регистрация импульсов. После выключения счета начинается цикл облучения (30 сек). В случае измерения фона тумблером 9 размыкается цепь двигателя 17 и лента остается неподвижной.

Перемещение мишени осуществлялось двигателем 15, который включается кнопками 11 и 12 в зависимости от нужного направления. Концевые выключатели 16а,б размыкают цепь двигателя, когда мишень доходит до крайнего переднего или заднего положения.

Для измерений в интервале углов $4-24^\circ$ использовалась схема, представленная на рис. 6б. Последовательность всех операций аналогична описанной выше.

Обычно для каждого значения угла θ делалось несколько циклов измерений эффекта и фона; поскольку колебания интенсивности пучка (в течение 30 сек облучения) могли сказаться на результатах измерений, особое внимание обращалось на постоянство интенсивности пучка во время облучения.

6. Расчет абсолютных значений дифференциальных сечений, угловое разрешение

В принятом нами варианте геометрии реакционной камеры для разных углов вылета продуктов реакции θ расстояние между мишенью и окошком изменяется в довольно широких пределах. Поэтому с изменением угла θ изменяется и угловой интервал $\Delta\theta$, в пределах которого продукты реакции попадают на сборник; изменяется также с углом θ угловое разрешение и эффективная толщина майларовой фольги окошек. Для цилиндрического окошка, вырезанного в боковой части реакционной камеры, $\Delta\theta$ меняется согласно соотношению (1)

$$\Delta\theta = \frac{\sin^2 \theta}{\left(R/d_1 + \frac{1}{4} \sin 2\theta\right)}, \quad (1)$$

где R - радиус окошка, d_1 - его ширина.

Для окошка в торцевой поверхности камеры изменение $\Delta\theta$ определяется соотношением (2)

$$\Delta\theta = \frac{d_2}{r} \sin 2\theta, \quad (2)$$

где r - средний радиус окошка, d_2 - его ширина.

В нашем случае $R=197$ мм, $d_1=15$ мм, $r=31$ мм, $d_2=13$ мм. Полученные при этом из формулы (1) значения равняются $\Delta\theta = 0,50^\circ$ для $\theta=14^\circ$, $\Delta\theta=8,5^\circ$ для $\theta=80^\circ$. Из формулы (2) $\Delta\theta=1,5^\circ$ для $\theta=4^\circ$ и $\Delta\theta=7,5^\circ$ для $\theta=20^\circ$. Формулы (1), (2) в приближении дают угловое разрешение аппаратуры.

Абсолютные значения дифференциальных сечений рассчитывались по формуле:

$$\frac{d\sigma}{d\theta}(\theta) = \frac{\lambda e^{\lambda t} (N - N_f)}{\epsilon P j n \Delta\theta}, \quad (3)$$

где λ - постоянная распада для ^{17}N , t - время от окончания облучения до начала счета, N - число отсчетов эффекта за 30 сек, N_f - число отсчетов фона за 30 сек,

ϵ - абсолютная эффективность детектора, P - прозрачность данного окошка, n - число ядер в мишени на 1 см^2 , j - число ионов, падающих на мишень за одну секунду.

В формуле (3) не учитывается влияние конечных размеров мишени и окошка. Учет такого влияния рассматривался более подробно в работе ^{11/}. Сделанные для реакции $^{181}\text{Ta} (^{14}\text{N}, ^{17}\text{N}) ^{178}\text{Ta}$ оценки дают поправку меньше 2,5%.

С помощью описанной аппаратуры были измерены угловые распределения реакции передачи двух и трех нейтронов на ряде элементов.

В качестве примера на рис. 7а, б показан выход и угловое распределение для реакции $^{197}\text{Au} (^{15}\text{N}, ^{17}\text{N}) ^{185}\text{Au}$.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить глубокую благодарность Г.Н. Флерову за постоянный интерес к работе и ценные замечания. Мы благодарны И.В. Колесову, А.В. Пожарскому за работу по конструированию реакционной камеры.

Л и т е р а т у р а

1. Г.Н. Флеров, В.В. Волков, Л. Поморски, Я. Тыс. ЖЭТФ, 41, 1365 (1961).
2. G.N. Flerov, L. Pomorski, J. Tys, V.V. Volkov, Symposium on Nuclear Instruments, Harwell, Proceed. ed. by J.V. Birks, London Heywood, 1962, p. 242.
3. В.В. Волков, Л. Поморски, Я. Тыс, Г.Н. Флеров. ЖЭТФ, 43, 865 (1962).
4. В.В. Волков, Л. Поморски, Я. Тыс, Г.Н. Флеров. ЖЭТФ, 42, 635 (1962).
5. V.V. Volkov, L. Pomorski, J. Tys, G.N. Flerov, Proc. Conf. on Direct Interactions and Nuclear Mechanisms, Padua, 1962 edited by E. Clement and C. Villi Gordon and Breach Sci. Publ. Inc. New York, London, 1962, p. 994.
6. В.В. Волков, Л. Поморски, Я. Тыс, Я. Вильчински. ЖЭТФ, 45, 897 (1963).
7. G.J. Perlow, W.J. Ramler, A.F. Stehney and J.L. Yntema, Phys. Rev. 122, 1961, 899.
8. J.V. Marion, R.J.A. Levesque, C.A. Ludemann, R.W. Detenbeck, Nucl. Instr. and Methods, 3, 1960, 297.
9. Eizo Teranishi, Taichi Michikawa, Misao Kageyama and Asamo Yurs Japanese Journal of Applied Physics 3, 1964, 36.
10. L.C. Northcliffe, Ann. Rev. Nucl. Science 13, 1963, 67.
11. А.С. Собичевски, Я. Тыс. Препринт ОИЯИ, 2899, Дубна 1966 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 октября 1966 г.

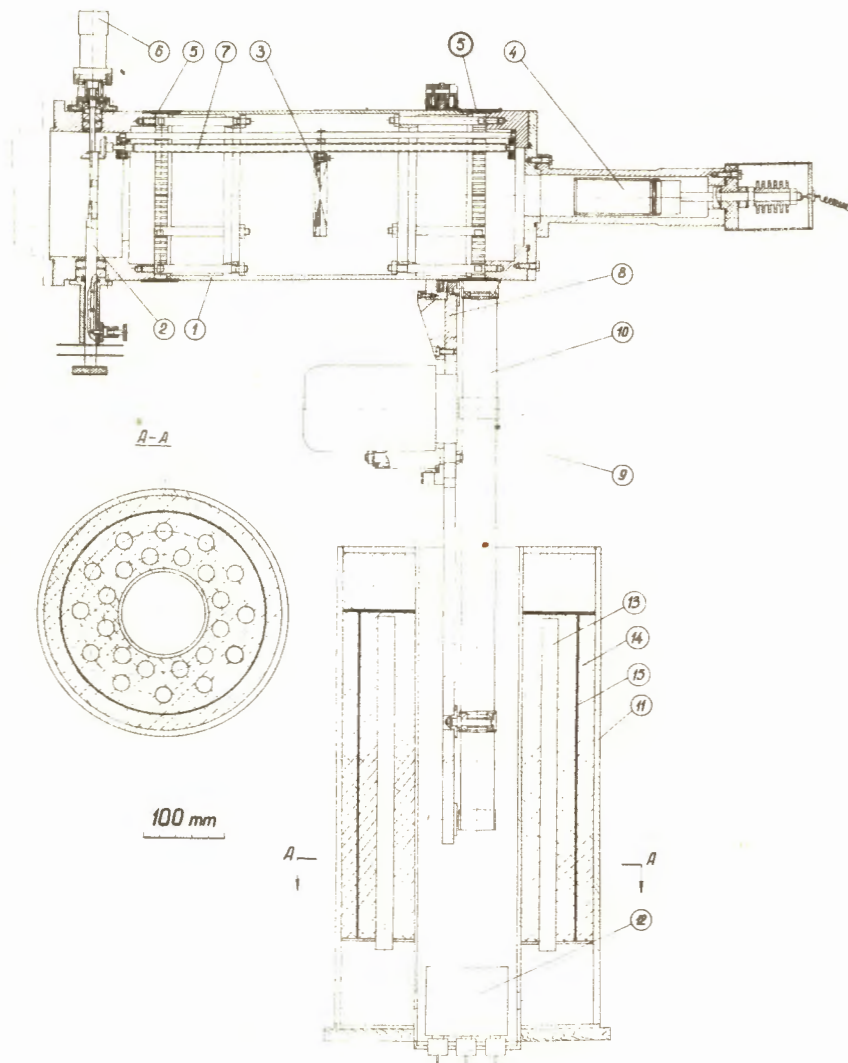


Рис. 1. Общий вид измерительной установки.

- 1 - корпус реакционной камеры, 2 - держатель коллиматора пучка ионов, 3 - держатель мишени, 4 - цилиндр Фарадея, 5 - майларовые окошки, 6 - двигатель перемещения мишени, 7 - система перемещения мишени, 8 - транспортер продуктов реакции, 9 - двигатель транспортера, 10 - бесконечная лента, 11 - блок детектора нейтронов, 12 - предусилитель, 13 - счетчики нейтронов, 14 - парафин, 15 - слой кадмия.

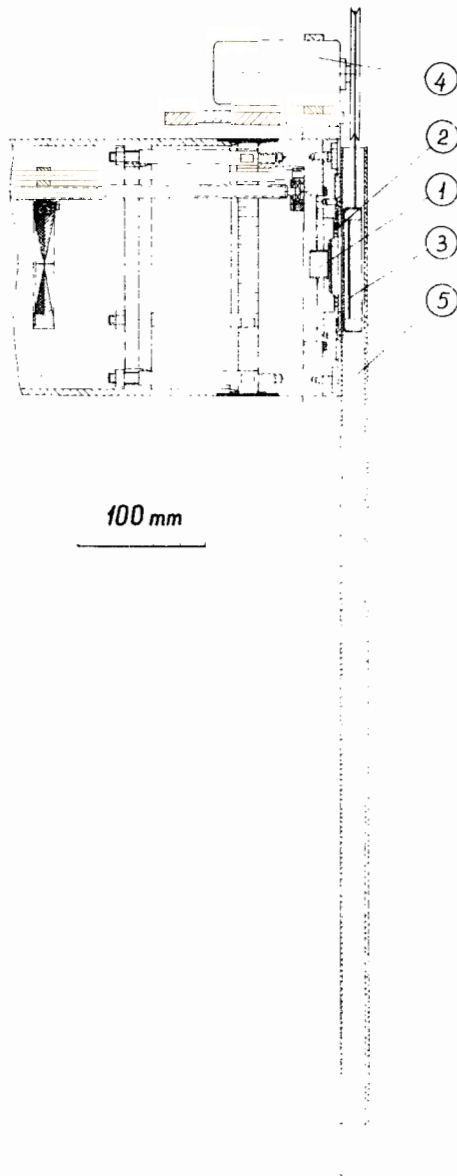


Рис. 2. Вариант установки для измерений в интервале углов $4-24^{\circ}$.
 1 - коллектор тока ионов, 2 - майларовое окошко, 3 - полиэтиленовый сборник, 4 - двигатель перемещения сборника, 5 - направляющая сборника.

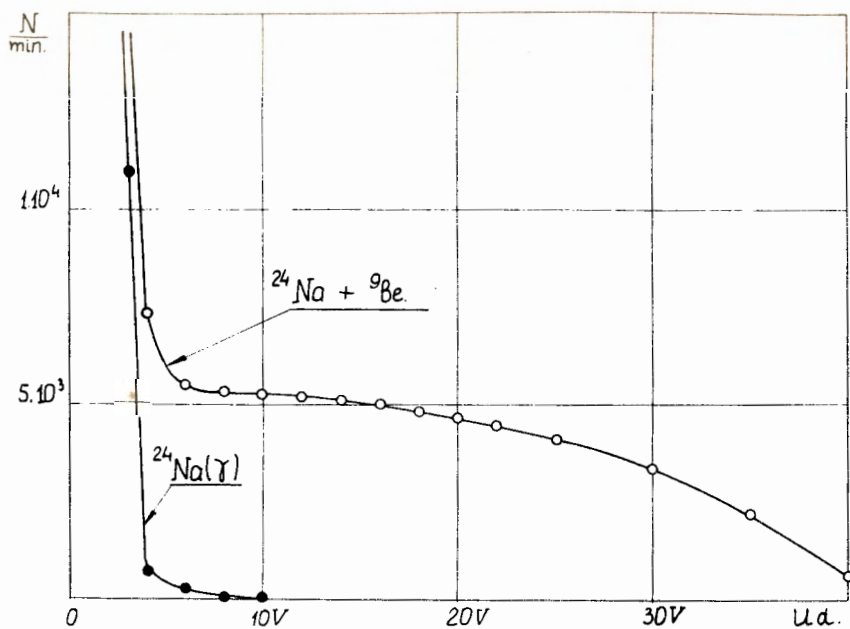


Рис. 3а. Счетные характеристики для регистрации нейтронов и γ -квантов.

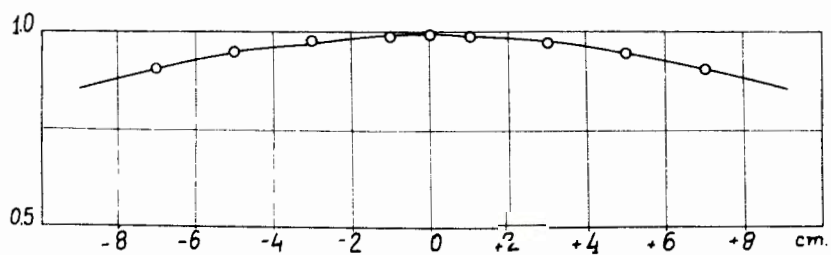


Рис. 3б. Изменение эффективности детектора нейтронов при смещении источника нейтронов от центра вдоль оси.

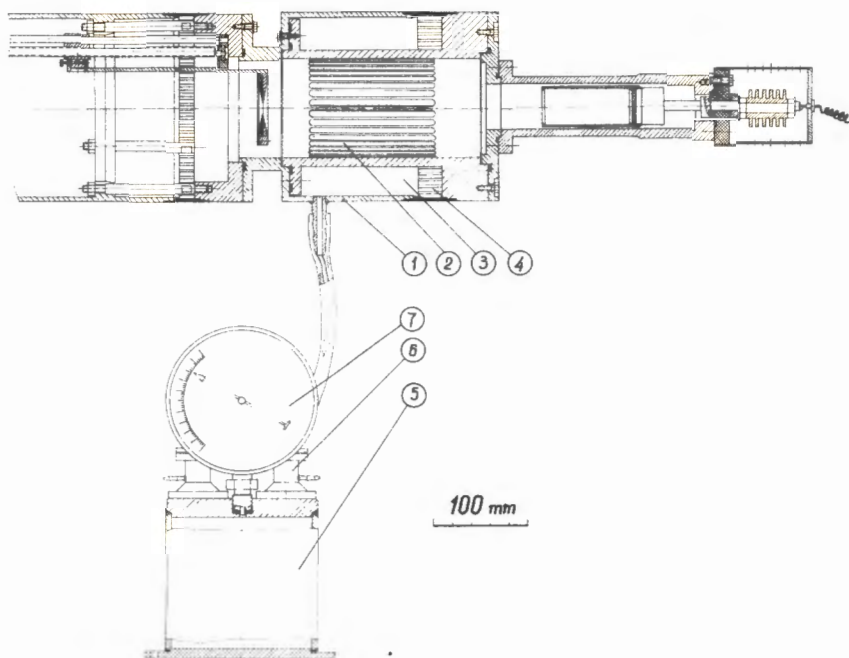


Рис. 4. Приставка для измерений энергетических спектров ядер ^{17}N .
 1 - корпус газовой камеры, 2 - внутренняя алюминиевая фольга,
 3 - газовый объем, 4 - внешняя майларовая фольга, 5 - буферный
 объем, 6 - натекатели, 7 - манометр.

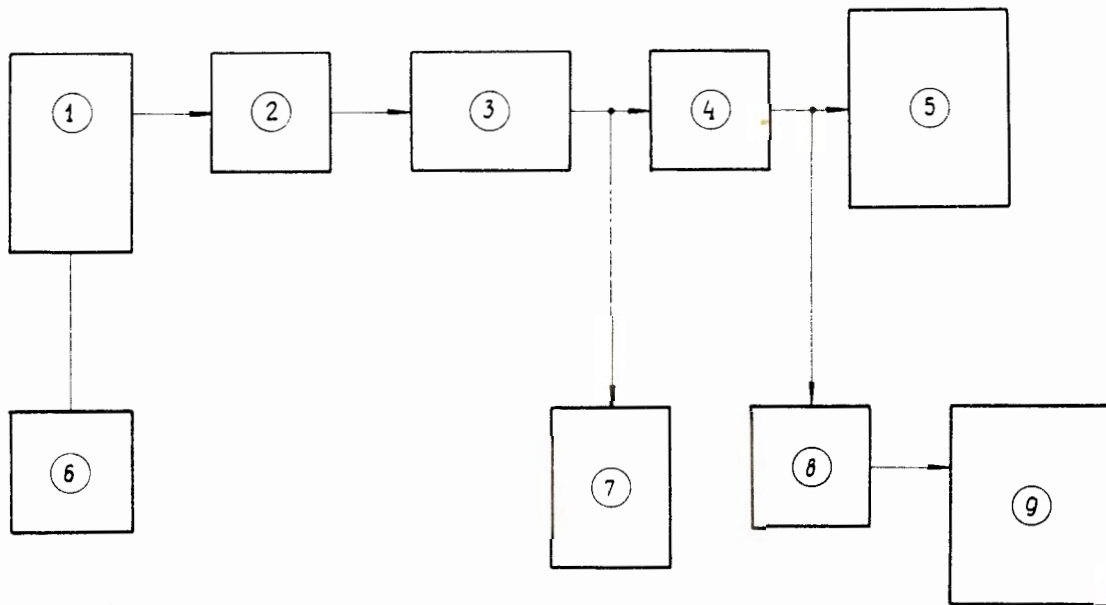


Рис. 5. Блок-схема электронной аппаратуры.

1 - детектор нейтронов, 2 - предусилитель, 3 - усилитель, 4 - пороговый дискриминатор, 5 - пересчетный прибор, 6 - выпрямитель высокого напряжения, 7 - осциллограф, 8 - конвертер времени в амплитуду, 9 - 100-канальный амплитудный анализатор.

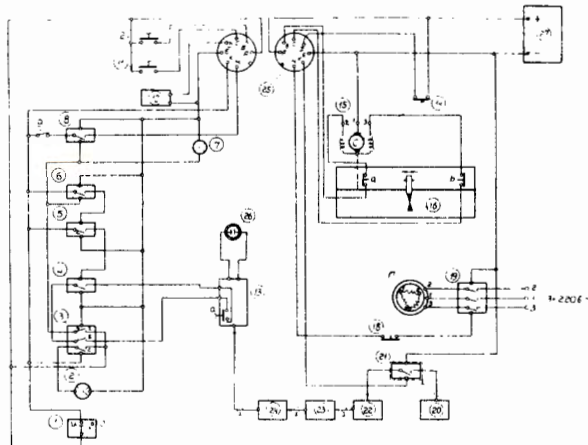


Рис. 6а. Электронная схема управления измерительной аппаратуры для углов $14-80^\circ$.
 1 - выключатель, ВЧ на пульте управления циклотрона, 2, 7 и 26 - сигнальные лампочки, 3 и 5 - реле времени, 4, 8 и 8 - контактные реле, 9 - переключатель для измерения эффекта и фона, 10 - счетчик, определяющий позицию мишени, 11 и 12 - кнопки для перемещения мишени, 13 - пересчетный прибор, 13а - кнопка пуска счета с выдержкой времени, 14 - контакты счетчика оборотов двигателя перемещения мишени, 15 - двигатель мишени, 16а и 16в - концевые выключатели перемещения мишени в реакционной камере, 17 - двигатель перемещения ленты, 18 - аварийный выключатель двигателя, 19 - контактное реле, 20 - выпрямитель высокого напряжения, 21 - контактное реле высокого напряжения, 22 - блок детектора нейтронов, 23 - усилитель импульсов, 24 - пороговый дискриминатор амплитуды, 25 - разъемы, 27 - выпрямитель на 24 в.

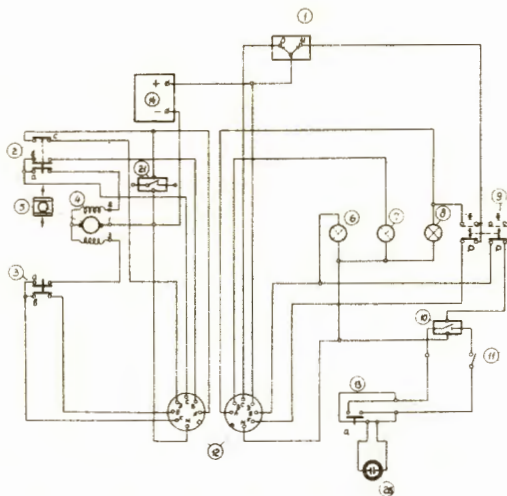


Рис. 66. Электронная схема управления измерительной аппаратуры для углов 4-24°.

2 и 3 - концевые выключатели двигателя сборника, 4 - двигатель сборника, 5 - сборник продуктов реакции, 6, 7 и 8 - контрольные лампочки, 9 - переключатели для измерения эффекта и фона, 10 - контактное реле, 11 - переключатели: 1, 12, 13, 21, 28 то же, что и на рис. 6а, 14 - выпрямитель на 24в.

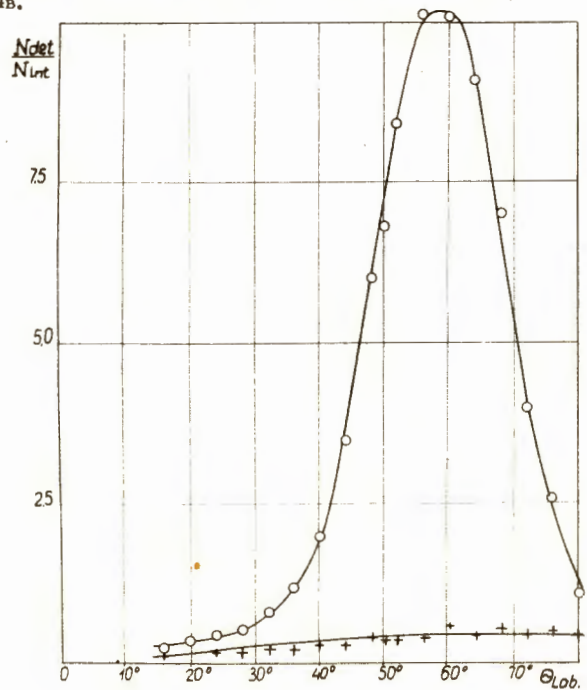


Рис. 7а. Результаты измерений эффекта и фона для реакции $^{197}\text{Au} (^{15}\text{N}, ^{17}\text{N}) ^{195}\text{Au}$.

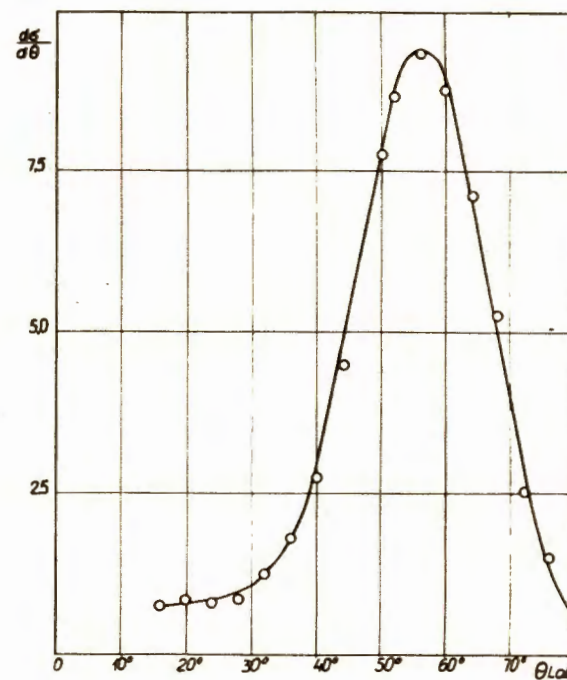


Рис. 7б). Угловое распределение ^{17}N в реакции $^{197}\text{Au} (^{15}\text{N}, ^{17}\text{N}) ^{195}\text{Au}$.