

Попов Ю. П. и др.  
Б1-3-8769.

+M

С 344 1а

П-58



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2076/75

Б1-3-8769

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 75

Ю.П.Попов, К.Г.Родионов, Р.Ф.Руми, М.Стэмпиньски

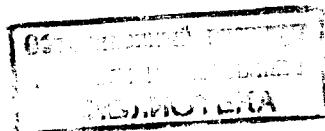
СЗУУ.1а

П-58

Б1-3-8769

Спектрометр для исследования альфа-распада  
нейтронных резонансов

7 апреля 78



Дубна, ОИЯИ, ЛНФ, 1974г.

## Введение

Наиболее подробную информацию о природе нейтронных резонансов можно получить, исследуя распад таких состояний. В последние годы благодаря созданию германиевых детекторов широкое распространение получило изучение спектров  $\gamma$ -лучей после захвата резонансных нейтронов, что дало новые сведения о структуре возбужденных состояний атомных ядер.

Значительный объем специфической информации о резонансных состояниях содержат спектры  $\alpha$ -частиц распада этих состояний. К сожалению из-за малой проникаемости кулоновского барьера для  $\alpha$ -частиц в области средних и тяжелых ядер реакция  $(n, \alpha)$  идет с крайне малым сечением. Этот факт, а также значительный фон от конкурирующей реакции  $(n, \gamma)$  -  $\frac{\sigma(n, \alpha)}{\sigma(n, \gamma)} < 10^{-5}$ , слабые потоки резонансных нейтронов у большинства современных источников нейтронов и необходимость работать непосредственно вслед за мощной вспышкой ионизирующих излучений импульсного источника нейтронов представляют значительные трудности для экспериментального изучения реакции  $(n, \alpha)$ . Все это приводит к необходимости создания спектрометров  $\alpha$ -частиц, обладающих такими характеристиками, как большая светосила, малый собственный фон, способность работать в больших полях слабоионизирующих излучений, неперегружаемость спектрометрического тракта при больших амплитудных перегрузках на входе, стабильность характеристик в течении сотен часов измерения и т.д.

Эффективные детекторы для регистрации  $\alpha$ -частиц в реакции  $(n, \alpha)$  на резонансных нейтронах описаны ранее [1,2]. В настоящей работе описываются две спектрометрические установки, разработанные в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, для изучения спектров  $\alpha$ -распада целого ряда индивидуальных состояний атомных ядер, возбуждае-

ных при захвате резонансных нейтронов. Рассматриваются влияние фоновых ионизирующих полей на разрешение спектрометра.

### ИОНИЗАЦИОННАЯ КАМЕРА

Существенные ограничения на тип  $\alpha$ -спектрометра для изучения редких реакций накладывает необходимость иметь прибор, обладающий большой светосилой с достаточно высоким разрешением по энергии

$\alpha$ -частиц, а также возможностью поместить в детектор максимальное количество исследуемого вещества, толщина которого должна составлять малую долю от пробега  $\alpha$ -частиц. В связи с этими требованиями мы ограничились рассмотрением двух типов спектрометров - на основе сцинтилляционного и ионизационного методов регистрации энергии частиц. Разрешающую способность сцинтилляционного газового детектора с большой рабочей площадью, даже при использовании электрического поля для усиления световой вспышки, не удалось получить лучше  $10 \div 12\%$  <sup>/3/</sup>, что недостаточно для изучения  $\alpha$ -спектров в реакции ( $\alpha, \alpha$ ). В настоящее время, вероятно, ионизационная камера с электроникой, имеющей высокое аппаратное разрешение, в наибольшей степени отвечает перечисленным требованиям. Применение ее дало возможность создать светосильный  $\alpha$ -спектрометр с удовлетворительным разрешением по энергии  $\alpha$ -частиц.

Один из спектрометров состоит из 6-ти секционной ионизационной камеры с сетками, электроники, позволяющей выбирать оптимальное энергетическое разрешение при данных размерах мишеней, а также системы регистрации многомерной информации. Имеется стабилизация всего спектрометрического тракта, включая камеру. Вакуумная система обеспечивает откачку и наполнение ионизационной камеры рабочей газовой смесью.

Второй спектрометр отличается конструкцией ионизационной камеры,

меньшей по объему и которая имеет только две секции с сетками.

Большая камера (рис. I, б) конструктивно выполнена в виде полого цилиндра диаметром 490 мм. и длиной 1210 мм, снабженного с торцов тонкостенными крышками на вакуумных уплотнениях. На боковой поверхности камеры имеются клапаны, через которые производится откачка и наполнение объема рабочим газом (98 %  $A_2$  + 2 %  $CO_2$ , или 97%  $A_2$  + 3%  $CH_4$  при давлении 2 атм.), На камере расположены сигнальные и высоковольтные вводы, контрольные манометры и вакуумметр. Внутри объема размещены 6 идентичных секций - независимых двойных ионизационных камер с сеткой. Полная площадь мишеней составляет 9000  $см^2$ .

Отдельная секция представляет собой систему из двух высоковольтных электродов (3) (алюминиевые диски диаметром 440 мм, толщиной 0,5 мм), на которые наносится мишень (тонкий слой 0,2  $мг/см^2$  изучаемого изотопа) и одного общего электрода (коллектора) (1), расположенного между ними. Между электродами размещены две сетки натянутые на стальные кольца (проволока  $d = 100мк.$ , шаг намотки 1,5 мм), Расстояния между высоковольтным электродом и сеткой, сеткой и коллектором равны соответственно 70 мм и 30 мм.

Вторая камера представляет собой одну секцию большой камеры с собственным кожухом и несколько отличающимся расположением электродов (рис. Iа). Площадь мишеней - 1500  $см^2$ .

Описываемые ионизационные камеры обладают малым собственным фоном. В энергетическом интервале 5 ÷ 10 Мэв фон за 100 часов составляет 1,3  $имп/см^2$ . Энергетическое разрешение каждой секции - 100 кэв для  $E = 4.5$  Мэв. При работе на пучке нейтронов от импульсного реактора ИБР-30 /4/ фон камеры повышается в 5 раз, а разрешение до 400 ÷ 200 кэв для  $E = 10$  Мэв, в различных интервалах времени после импульса мощности реактора.

Расположение ионизационных камер на пучке нейтронов при измерении спектров  $\alpha$ -частиц из реакции ( $n, \alpha$ ) показаны на рис. 1а и 1б. Малая камера устанавливалась за щелевым коллиматором с проходным отверстием  $(30 \times 2) \text{ см}^2$  с таким наклоном, при котором в пучке нейтронов находилась вся площадь мишеней и только 10% чувствительного объема камеры. Это расположение позволяет использовать камеру в более мощных полях излучений, по сравнению с геометрией рис. 1б. На базе 100 м при импульсе мощности реактора в 60 Мвт, малая ионизационная камера в такой геометрии эксперимента восстанавливает свои спектрометрические свойства через 400 мксек. (диапазон исследуемых энергий нейтронов до  $E_n < 350 \text{ эв}$ ), в то время как в геометрии рис. 1б ионизационной камере требуется для восстановления  $\sim 1200 \text{ мксек.}$  ( $E_n < 40 \text{ эв}$ ).

## ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА

При разработке электронной аппаратуры учитывались такие факторы, как малая статистика  $\alpha$ -частиц из реакции ( $n, \alpha$ ) при значительном фоновом излучении от конкурирующих реакций и из реактора, большие импульсные перегрузки в момент импульса мощности реактора, дрейф системы детектор-анализатор при длительном времени измерения. Была создана многоканальная измерительная аппаратура с линейными неперегружающими спектрометрическими трактами и системой коррекции дрейфов всех трактов. Блок-схема аппаратуры приведена на рис. 2.

Импульс с коллектора ионизационной камеры (1) усиливался до рабочей величины усилителями (2) и (3) и подавался по длинному кабелю ( $\sim 1000 \text{ м}$ ) на управляемый усилитель УУ (4). (Длина кабеля зависела от расстояния между местом расположения камеры и регист-

рирующими устройствами). С усилителя УУ через линейную схему ИЛИ (8) импульс поступал на преобразователи  $\pm 5I2$  - канальный амплитудно-цифровой (АЦП) (9) и 4096 - канальный время - цифровой (ВЦП) (10). С блоков АЦП, ВЦП и кодировщика номера канала (16) информация об амплитуде, признаке номера канала и времени прихода исследуемого импульса относительно стартового импульса, скоррелированная по времени с импульсом мощности реактора, переносилась в промежуточную память ПП (12). Через устройство отбора (13) цифровой код 3-х параметров передавался для синхронной записи на магнитную ленту (14).

Система цифровой коррекции дрейфов коэффициента усиления представлена блоками цифровых окон (11), реверсивными счетчиками (6) и цифроаналоговыми преобразователями ЦАП (7). Блоки ЦАП связаны с УУ и управляют ими в зависимости от состояния реверсивных счетчиков (дрейфа системы).

В описываемых спектрометрах дрейф был связан с изменением характеристик ионизационных камер (изменение параметров газа, наполняющего объем камер) с колебаниями напряжения сети на величину, некомпенсируемую стабилизацией источников питания, с изменением по каким-либо причинам коэффициента усиления и с другими факторами, влияющими на величину амплитуды импульса. Для компенсации дрейфа использован способ на основе цифрового стабилизатора. Контролировался монопик  $\alpha$ -спектра эталонного источника, установленный в заданных каналах анализатора, путем счета числа импульсов, поступающих в зоны по обе стороны от центра тяжести пика. Избыток отсчета в одной из зон указывал на дрейф системы. Стабилизатор автоматически изменяет коэффициент усиления линейного тракта с помощью УУ до тех пор, пока отсчеты в обоих зонах не станут одинаковыми.

В процессе эксплуатации спектрометра в систему стабилизации были внесены изменения, связанные со следующими причинами. Число отсчетов эталонного  $\lambda$ -источника, достаточное для оптимальной стабилизации спектрометрического тракта при непрерывном процессе стабилизации, значительно уменьшается в условиях эксперимента на импульсном пучке нейтронов ИБР, когда измерения ведутся во временных окнах. При очень малой статистике стабилизация становится неэффективной. Использование более мощного источника (эталонного) приводит, во-первых, к увеличению фона в области эффекта со стороны низких энергий, а во-вторых, из-за ограниченного быстродействия промежуточной памяти системы регистрации - к ее переполнению и блокировке.

Дальнейшие исследования характеристик ионизационной камеры (после ее конструктивного изменения) показали, что по истечении (1 ÷ 3) суток после ее наполнения газом в камере устанавливается режим, при котором сохраняется постоянство амплитуды импульса в течении многих дней измерения. Поэтому оказалось возможным отказаться от охвата стабилизацией самой камеры. В этом случае для стабилизации спектрометрического тракта используется вместо эталонного источника импульсы с эталонного генератора, подаваемые на вход предусилителя (рис. 3). Для исключения отрицательных эффектов, указанных выше, эталонный генератор (I8) включается только в определенные интервалы времени между вспышками реактора; частота генератора регулируется, а вход промежуточной памяти на время работы системы стабилизации блокируется времязадающим блоком (I7). Для каждой секции камеры, имеется свой спектрометрический тракт, и блоки коррекции дрейфа. Так как эталонный генератор имеется в каждом тракте, то производится селективный выбор тракта, подлежащего коррекции в данный момент. Выбор делается с помощью блоков



(5), коммутирующих реверсивный счетчик того тракта, импульс с которого анализируется в АЦП.  $\alpha$ -спектр слабого эталонного источника  $^{238}\text{U}$  регистрировался на магнитную ленту также, как и исследуемый, с признаком номера канала и использовался для калибровки шкалы по энергии, а также при анализе причин отдельных неисправностей всей системы.

Применение многомерного анализатора с магнитной лентой /5/ дало возможность вести одновременно регистрацию амплитудно-временных спектров со всех секций ионизационной камеры. Так как при этом записывался и номер секции, то при дальнейшей обработке можно выбрасывать неправильно зарегистрированную по каким-либо причинам информацию с любой из секций.

### РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Разрешающая способность ионизационного  $\alpha$ -спектрометра зависит от ряда факторов. Радиотехнические шумы и флюктуация числа пар ионов приводят к гауссовскому распределению импульсов по амплитудам, не сдвигая местоположения максимума. Другие факторы (толщина источника  $\alpha$ -частиц, прилипание электронов к электроотрицательным примесям, неполная экранировка коллектора сеткой, конечный фронт нарастания импульса, дрейф системы) приводят как к уширению  $\alpha$ -линии, так и к сдвигу максимума в область меньших энергий. Влияние на разрешающую способность описываемого  $\alpha$ -спектрометра различных факторов приводятся в таблице I.

Таблица I

Факторы, влияющие на амплитуду импульсов	$\Delta E$ (кэв.)		$E_{\alpha}$ (Мэв)
	уширение	сдвиг	
Радиотехнические шумы <sup>х)</sup>	~ 70		10
Флюктуация ионизации	~ 9,5		10
Толщина мишени (300мкг/см <sup>2</sup> )	~ 80	~ 35	10
Неполная экранировка сеткой	~ 23	~ 57	10
Влияние формирующих цепей усилительного тракта <sup>хх)</sup>	~ 2	~ 75	10
Потеря электронов	< 50		5
Облучение $\gamma$ -квантами $N_{\gamma} = 6 \cdot 10^7$ I/сек. <sup>х)</sup>	~ 230	~ 400	5

х) - экспериментальные величины

хх) - связаны с различием во времени нарастания импульсов.

Существенное влияние на величину разрешающей способности по энергии  $\alpha$ -частиц оказывает постоянное или импульсное облучение ионизационной камеры фоновым ионизирующим излучением. Спектрометр работал в присутствии сильного нейтронного излучения в момент вспышки реактора, а также большого фона  $\gamma$ -излучения, идущего из реактора и от конкурирующей реакции ( $n, \gamma$ ), сечение которой на 5 ÷ 6 порядков выше сечения реакции ( $n, \alpha$ ). Интенсивный фон вызывает в ионизационной камере три отрицательных эффекта:

I. Возрастание уровня шумов за счет появления большого числа фоновых импульсов. При этом составляющая шума пропорциональна интенсивности фонового  $\gamma$ -излучения и зависит от параметров ионизационной камеры. Так, например, для  $N_{\gamma}$

$$U_{\alpha}^2 = k \tau p d N_{\gamma}$$

где  $k$  - зависит от коэффициента конверсии  $\gamma$  -квантов, а также от энергетического спектра  $\gamma$  -излучения,  
 $\tau$  - время реакции усилителя,  
 $d$  - расстояние между высоковольтным электродом и коллектором,

$P$  - давление газа, наполняющего объем камеры.

При давлении  $p = 3$  атм. (98% аргона + 2%  $CO_2$ ) и облучении камеры  $\gamma$  -лучами источника  $^{137}Cs$  с интенсивностью  $N = 10^7$  ~~и~~  
 $N_p = 6 \cdot 10^7$  I/сек, среднеквадратичное значение шума составляло  $U_n^2 = 3.2$  мкв<sup>2</sup>, из-за чего энергетическое разрешение спектрометра ухудшилось в 2 раза.

2. Уменьшение сигнала и ухудшение разрешающей способности по энергии  $\alpha$  -частиц за счет действия положительного пространственного заряда ионов, возникающего в результате ионизации газа в промежутке сетка - коллектор. В частности, существенный пространственный заряд образуется в момент импульса мощности реактора. На выходе ионизационной камеры получается большой биполярный импульс. Отрицательная составляющая этого импульса в 1000 раз превосходит амплитуду рабочих импульсов. Постоянная времени спада положительного выброса определяется скоростью дрейфа положительных ионов в промежутке сетка - коллектор. От альфа - частицы, находящейся в интервале времени спада положительного выброса, из-за наложения на спад образуется импульс меньше его действительного значения, в результате чего наблюдается сдвиг  $\alpha$  -линии в сторону меньших энергий. Причем этот сдвиг не зависит от энергии  $\alpha$  -частиц (рис. 3). За счет флюктуации мощности вспышки реактора величина положительного выброса колеблется, что приводит к дополнительному уширению  $\alpha$  -линии. Это уширение тем меньше, чем дальше по времени расположен исследуемый нейтронный резонанс относительно момента импульса реактора.

3. Искажение электрического поля в рабочем промежутке камеры из-за появления ионного облака, возникающего при  $\gamma$ -облучении. Это приводит к увеличению рекомбинации электронов с ионами разных атомов. Однако этот эффект становится существенным лишь при очень больших полях излучения ( $\sim 1000$  р/час), при которых невозможна работа камеры из-за других списанных эффектов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные здесь альфа-спектрометры вместе с их прототипом /6/ позволили впервые исследовать спектры  $\alpha$ -распада индивидуальных резонансных состояний атомных ядер, получить первые сведения о флуктуациях парциальных  $\alpha$ -ширин нейтронных резонансов /4,7/.

На рис.4 представлена зависимость счета  $\alpha$ -частиц 6-ти секционной ионизационной камерой от времени пролета нейтронами базы в 100м. Для 12 наиболее сильных резонансов, видимых на этом рисунке, были измерены спектры  $\alpha$ -частиц. Часть из них представлена на рис.5.

Проведенные исследования показали, что разработанный спектрометр может быть использован для измерений спектров  $\alpha$ -частиц в реакциях, идущих с крайне малыми сечениями при наличии значительных фонов слабоионизирующих излучений.



## ЛИТЕРАТУРА

1. И.Квитек, Ю.П.Попов, К.Г.Родионов, ПТЭ, №2, 90, (1967).
2. Ю.П.Попов, М.Стэмпиньски, ПТЭ, №6, 49, (1969).
3. И.Квитек, Е.И.Нечаева, Ю.П.Попов, И.Рибански, Р.Ф.Руми, М.Стэмпиньски, препринт ОИЯИ РЗ-3904, Дубна, (1968).
4. Ю.П.Попов, М.Пшитула, К.Г.Родионов, Р.Ф.Руми, М.Стэмпиньски, В.И.Фурман, ЯФ, 13, 913, (1971).
5. Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, К.Г.Родионов, и др.  
Труды У научно-технической конференции по ядерной электронике, Госатомиздат, 1963г., т.2, ч.II.
6. Ю.П.Попов, М.Стэмпиньски, письма ЖЭТФ, 7, 126, (1968).
7. И.Вильгельм, Ю.П.Попов, М.Пшитула, Р.Ф.Руми, М.Стэмпиньски, Сообщение ОИЯИ, РЗ-5553, Дубна, (1970).

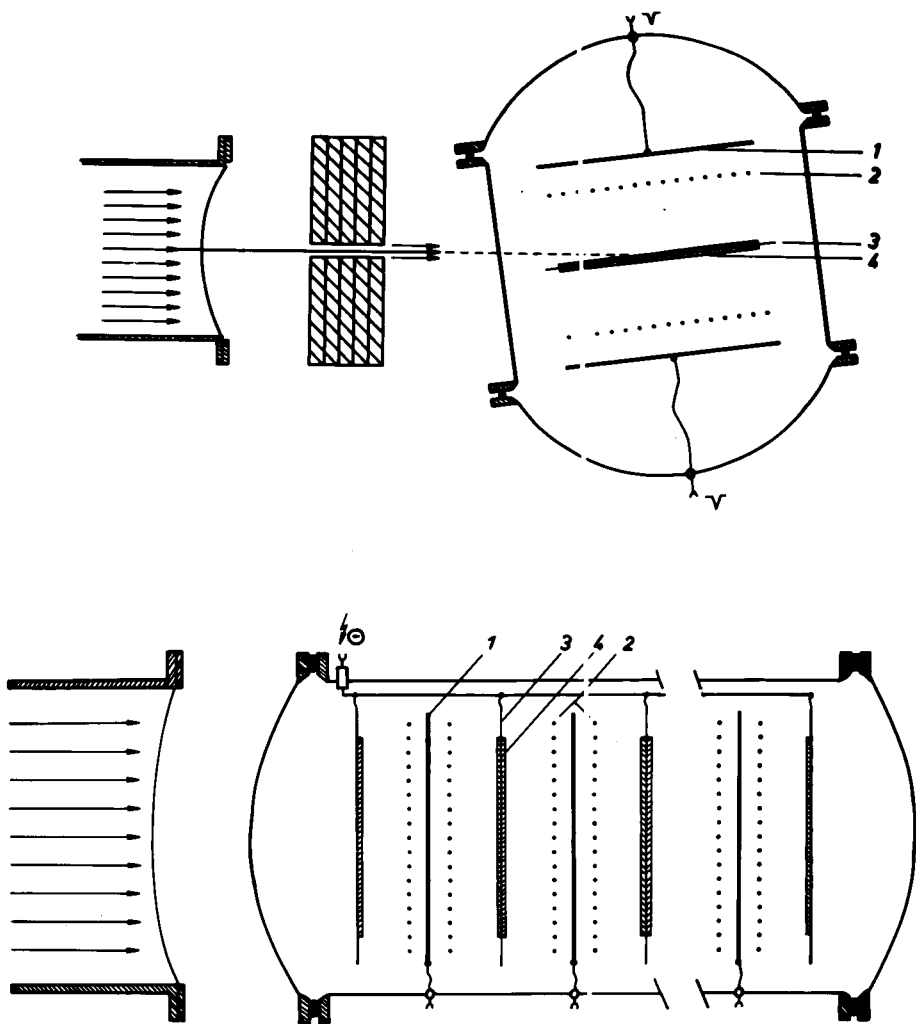


Рис. I

- а) 2-х секционная ионизационная камера;
  - б) 6-ти секционная ионизационная камера;
- I-коллектор; 2-сетка; 3-высоковольтный электрод;  
4-мишень.

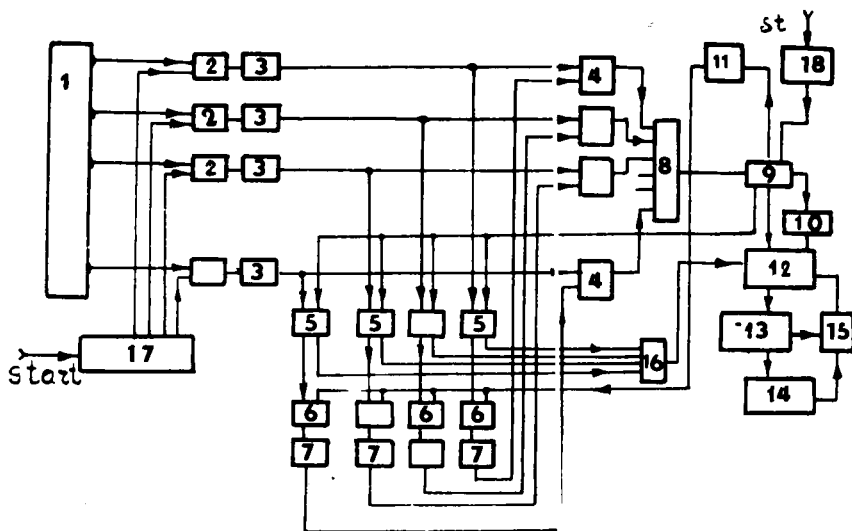


Рис.2 Блок схема электронной аппаратуры альфа-спектрометра I-ионизационная камера; 2-предусилитель; 3-основной усилитель; 4-управляемый усилитель; 5-блок выбора тракта; 5-реверсивный счетчик; 7-цифро-аналоговый преобразователь; 8- линейная схема ИЛИ; 9-амплитудно-цифровой преобразователь; 10-время-цифровой преобразователь; 11-цифровые окна; 12- промежуточная память; 13-схема отбора; 14-магнитофон; 15-запоминающее устройство с осциллографом; 16-кодировщик номера секции; 17-эталонные генераторы; 18-времязадающий блок.

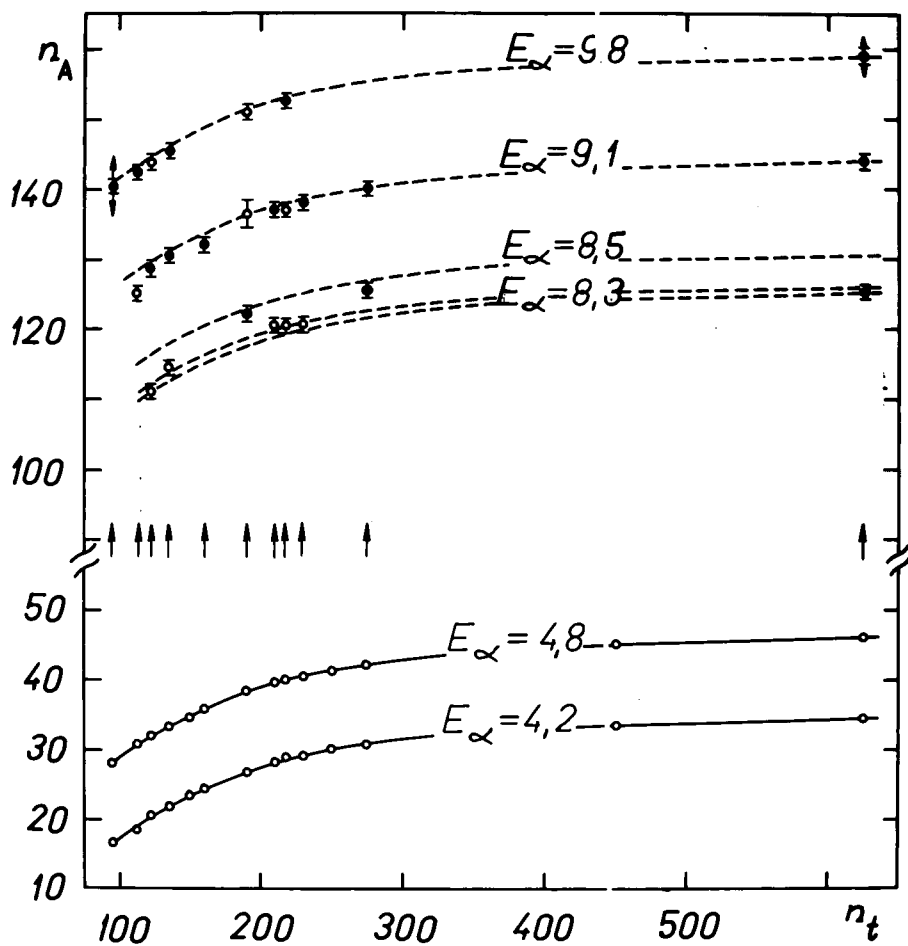


Рис.3 Временная зависимость амплитудных спектров альфа частиц

$n_t$  - временные каналы,

$n_A$  - амплитудные каналы.



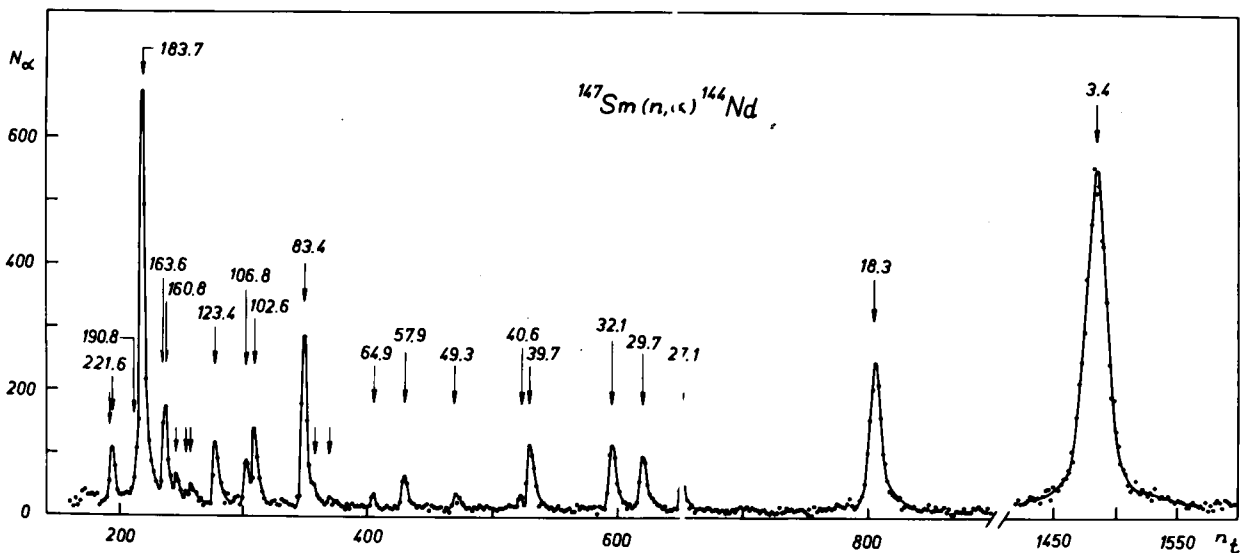


Рис.4 Временной спектр альфа-частиц из реакции  $^{147}\text{Sm}(n,\alpha)^{144}\text{Nd}$

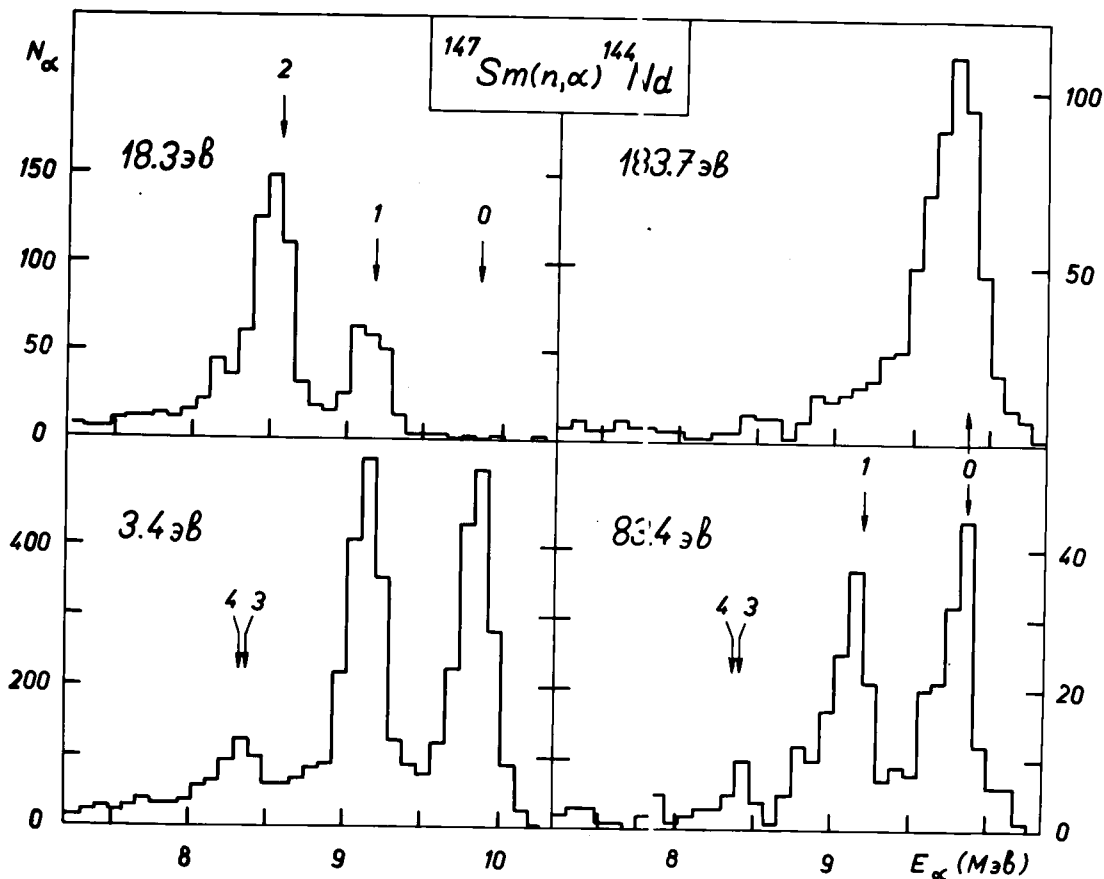


Рис.5 Спектры альфа-частиц в резонансах 3,4 эв., 18,3 эв., 83,4 эв., 183,7 эв.