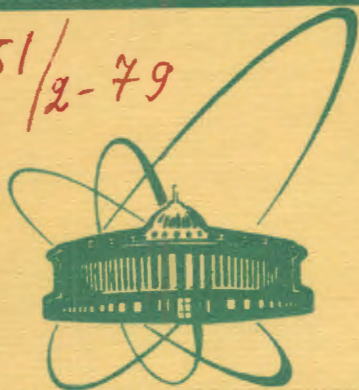


4451/2-79



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

СЗУУ. 1А

А-651

5/II-79

13 - 12458

Ю.Анджеевски, Во Ким Тхань, В.А.Втюрин,  
А.Корейво, М.Стэмпиньски

СВЕТОСИЛЬНЫЙ  $\alpha$  - СПЕКТРОМЕТР

ДЛЯ РАБОТЫ В ИМПУЛЬСНЫХ ПОЛЯХ ИЗЛУЧЕНИЙ

1979

13 - 12458

Ю. Анджеевски, Во Ким Тхань, В.А. Втюрин,  
А. Корейво, М. Стэмпиньски

СВЕТОСИЛЬНЫЙ  $\alpha$  - СПЕКТРОМЕТР  
ДЛЯ РАБОТЫ В ИМПУЛЬСНЫХ ПОЛЯХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА



13 - 12458

Анджеевски Ю. и др.

Светосильный  $\alpha$ -спектрометр для работы  
в импульсных полях излучений

Описывается усовершенствованный вариант светосильного  $\alpha$ -спектрометра для исследования реакции  $(n, \alpha)$ .

Дальнейшее развитие исследований реакции  $(n, \alpha)$  потребовало существенного увеличения площади образца при сохранении приемлемого разрешения по энергии  $\alpha$ -частиц и хороших перегрузочных характеристик спектрометра. Эта задача была решена путем перехода к цилиндрической геометрии камеры в сочетании с коллимацией пучка нейтронов в виде кольца, засвечивавшего образец и малую долю (~15%) рабочего объема камеры. Успешное применение описываемого спектрометра в исследованиях реакций  $(n, \alpha)$  и  $(n, \gamma \alpha)$  на резонансных нейтронах и в измерениях средних парциальных сечений реакции  $(n, \alpha)$  в килоэлектронвольтовой области энергий нейтронов на импульсном реакторе ИБР-30 демонстрирует преимущества такого  $\alpha$ -спектрометра по сравнению с использовавшимися ранее.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

13 - 12458

Andrzejewski J. et al.

High-Efficiency  $\alpha$ -Spectrometer for Investigations  
in Pulsed Radiation Fields

An improved high - efficiency  $\alpha$ -spectrometer for  $(n, \alpha)$  investigations is described.

Study of  $(n, \alpha)$  reaction being continued required to increase further the sample area without violation of  $\alpha$ -energy resolution and overload characteristics of the spectrometer. It was achieved by introducing a chamber of cylindrical geometry and collimation of the neutron beam in a form of a ring enclosing the sample and partly (~15%) the working area of the chamber. The use of the described spectrometer in experiments on  $(n, \alpha)$  and  $(n, \gamma \alpha)$  reactions with resonance neutrons as well as for the measurement of partial cross sections of  $(n, \alpha)$  reaction in keV neutron energy region with the IBR-30 pulsed reactor proved it being preferable to the earlier employed spectrometers.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Спектрометрия  $\alpha$ -частиц, возникающих в реакции  $(n, \alpha)$  или  $(n, \gamma \alpha)$  на редкоземельных и тяжелых элементах при использовании импульсного источника нейтронов, обладает рядом особенностей. Специфическими чертами такого эксперимента являются в основном:

1/ Малая плотность потока нейтронов /по сравнению с потоками заряженных частиц/ и малая величина сечений  $\sigma(n, \alpha)$  и  $\sigma(n, \gamma \alpha)$  на этих элементах.

2/ Большой фон конкурирующей реакции  $(n, \gamma)$  /в лучших случаях соотношение сечений соответствующих реакций  $\sigma_{(n, \alpha)} / \sigma_{(n, \gamma)} = 10^{-5}$  /.

3/ Перегрузка детектора и электронного усилительного тракта в момент импульса мощности реактора.

Следовательно, появляются дополнительные требования к детектору:

1/ Площадь мишени должна быть возможно больше, так как увеличение количества ядер исследуемого образца за счет толщины мишени ведет к ухудшению разрешения по энергии  $\alpha$ -частиц;

2/ Детектор должен быть мало чувствителен к фону слабоионизирующего излучения и быстро восстанавливать способность к работе после перегрузки в момент импульса мощности реактора, т.е. необходимо сведение к минимуму объема камеры, облучаемого потоком нейтронов и  $\gamma$ -лучей из реактора.

3/ Параметры спектрометра должны удерживаться на постоянном уровне в течение нескольких сот часов измерений;

4/ Преобразование энергии  $\alpha$ -частиц в амплитуду импульса должно быть линейным в интервале энергий  $E_\alpha$  до 10 МэВ.



Применять мишень и детектор малой площади оказывается возможным только при наличии мощных стационарных реакторов, дающих большие потоки тепловых нейтронов /измерения с кремниевыми поверхностно-барьерными детекторами<sup>1-5/</sup>/. При исследовании  $\alpha$ -спектров в отдельных резонансах, когда энергия нейтронов измерялась по времени пролета, применялись лишь импульсные ионизационные камеры<sup>/6/</sup>. Другие виды детекторов  $\alpha$ -частиц /сцинтилляционные, пропорциональные/ использовались только при измерениях полных альфа-ширин или сечений реакции  $(n, \alpha)$ <sup>/7,8/</sup>.

В условиях экспериментов, которые проводятся нашей группой, спектрометром  $\alpha$ -частиц /ряд параметров которого превышает параметры применявшихся до сих пор камер<sup>/6,9/</sup> / является цилиндрическая ионизационная камера с сеткой. Камера была разработана и построена в Физическом институте Лодзинского университета /ПНР/, а ее характеристики измерялись в ЛНФ ОИЯИ. Эта камера дает возможность использовать мишень большой площади и иметь удовлетворительное разрешение по энергии  $\alpha$ -частиц, что обеспечивается, в частности, малым значением емкости коллектора относительно земли. Если расстояния между электродами плоской камеры и площадь мишени будут такими же, как в нашей цилиндрической, то электрическая емкость коллектора относительно земли будет в 6-10 раз больше емкости коллектора цилиндрической камеры. Обзор цилиндрических ионизационных камер и описание их свойств представлены в работе<sup>/10/</sup>.

Основные параметры трех камер, использованных в измерениях парциальных  $\alpha$ -ширин резонансов, приведены в таблице.

Большая ионизационная камера /БИК/<sup>/9/</sup> обеспечивает возможность применения мишени большой площади, но при этом из-за геометрии /плоские электроды/ полная емкость коллектора оказывается настолько большой, что необходимо подключать предусилитель для каждой секции. Параллельная работа 6 усилительных трактов усложняет настройку электронной аппаратуры, потому что параметры всех трактов должны быть с большой точностью одинаковыми. Кроме того, длина камеры - 1,2 м - вводит большую ошибку измерения энергии нейтронов по методу времени пролета, а облучение потоком быстрых нейтронов и  $\gamma$ -квантов из активной зоны реактора полного

Таблица

Тип $\alpha$ -спектрометра	Рабочая площадь детектора, см <sup>2</sup>	Емкость коллектора, пФ	$\Delta E_{\alpha}$ при $E_{\alpha} \sim 5$ МэВ без пучка, кэВ	$\Delta E_{\alpha}$ при $E_{\alpha} \sim 9$ МэВ на пучке нейтронов, кэВ	1/ $\Delta E_n / E_n$	2/ $\Delta E_n / E_n$ , %	Облучаемая часть объема, %	Литература
Si детектор	4,5	500		50 <sup>3/</sup>				/4/
Si детектор	1	110		120 <sup>3/</sup>				/5/
БИК	9000	6x90	100	300		1,4	100	/9/
СИК	1600	2x60	100	270		0,35	12	/6/
ЦИК	3600	13	65	270		0,6	15	Настоящая работа

1/ Данные получены с толщиной мишени 40 мкг/см<sup>2</sup> для<sup>/4/</sup>; 200-250 мкг/см<sup>2</sup> для остальных.

2/ Относительная погрешность определения энергии нейтронов, вносимая конечной длиной детектора при пролетном расстоянии 85 м.

3/ На пучке тепловых нейтронов, без  $\gamma$ -лучей и быстрых нейтронов.



объема камеры резко увеличивает "мертвое" время детектора и усилительного тракта.

Средняя ионизационная камера /СИК/<sup>1/6/</sup> обеспечивает хорошее разрешение по  $E_n$  и требует подключения только двух предусилителей, но при этом позволяет работать с мишенью, в 6 раз меньшей по площади, чем БИК. Особого внимания заслуживает здесь применение щелевого коллиматора и расположение мишени под углом  $\sim 4^\circ$  к направлению пучка. Это позволяет облучать нейтронами всю мишень и только небольшую часть полного объема камеры. Таким образом, уменьшается пространственный заряд, возникающий в рабочем газе в момент импульса мощности реактора, и перегрузка становится меньше.

Отличительной чертой нашей камеры /ЦИК/ является геометрия высоковольтного электрода, на котором расположена мишень. Этот электрод сделан в форме боковой поверхности усеченного конуса с углом при вершине  $2\epsilon = 2 \times 2^\circ 17'$ , диаметром 280 мм со стороны входа нейтронного пучка и 240 мм - с противоположной. Коллектор и сетка имеют цилиндрическую форму, их диаметры соответственно 10 и 100 мм. Длина каждого электрода - 500 мм. Применение высоковольтного электрода в таком виде и соответствующего кольцевого коллиматора дает возможность аналогично, как и в СИК, облучить нейтронами лишь  $\sim 15\%$  объема камеры. Способ установки камеры на пучке, показанный на рис. 1, приводит к тому, что толщина

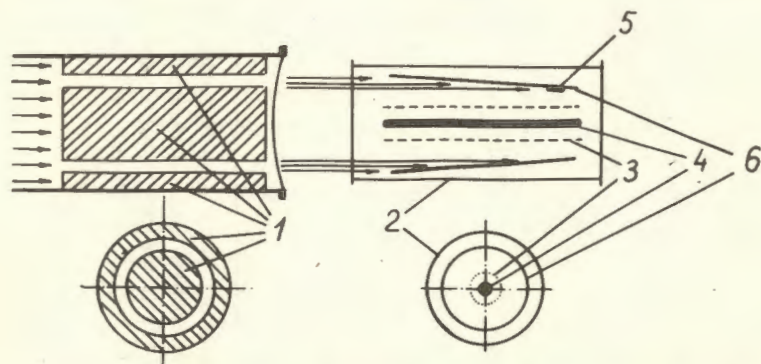


Рис. 1. Схема камеры и коллимации пучка нейтронов. 1 - коллиматор, 2 - корпус ионизационной камеры, 3 - сетка, 4 - собирающий электрод, 5 - калибровочный источник, 6 - мишень.

мишени для  $\alpha$ -частиц /равна действительной толщине  $d$  / отличается от толщины этой же мишени для пучка нейтронов  $d_n$  на фактор  $\text{ctg} \epsilon$  ( $d_n = d \cdot \text{ctg} \epsilon \approx 25d$ ).

### НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАМЕРЫ

Указанные выше размеры высоковольтного электрода дают возможность работать с мишенями площадью до  $3600 \text{ см}^2$ , при этом емкость коллектора относительно земли составляет лишь 13 пФ. Камера, как правило, наполнялась смесью 92% Ar и 8%  $\text{CH}_4$  под давлением 1,5-2 атм.

Для улучшения разрешения по  $E_\alpha$  в камере применена цилиндрическая сетка. Она экранирует коллектор от положительного заряда ионов, возникающих в промежутке высоковольтный электрод - сетка. Коэффициент неэкранировки составляет 1,5%. Экспериментально проверено, что применение сетки в нашей камере улучшило разрешение по  $E_\alpha$  в 6 раз по сравнению с камерой, в которой размеры высоковольтного электрода и коллектора такие же, как в нашей, но нет сетки.

Проверку линейности преобразования энергии  $\alpha$ -частиц в амплитуду импульса и разрешения по энергии  $\alpha$ -частиц мы провели при помощи источников  $\alpha$ -частиц:  $^{147}\text{Sm} / E_\alpha = 2,23 \text{ МэВ}/$ ,  $^{238}\text{U} / E_\alpha = 4,18 \text{ МэВ}/$ ,  $^{235}\text{U} / E_\alpha = 4,40 \text{ МэВ}/$ ,  $^{234}\text{U} / E_\alpha = 4,76 \text{ МэВ}/$ ,  $^{224}\text{Ra}$  /несколько групп  $\alpha$ -частиц, максимальная энергия 8,78 МэВ/. Преобразование энергии  $\alpha$ -частицы в амплитуду импульса можно считать линейным с точностью до 1%. Разрешение по энергии  $\alpha$ -частиц /ширина пика на половине его высоты/ составляет 65 кэВ при  $E_\alpha = 6,05 \text{ МэВ}$  /рис. 2/. Пик 8,78 МэВ имеет искаженную форму /уширение в сторону высоких энергий/, потому что период полураспада изотопа  $^{212}\text{Po}$ , испускающего  $\alpha$ -частицы такой энергии, составляет  $3 \times 10^{-7} \text{ с}$ , и, следовательно, импульсы от  $\alpha$ -частиц накладываются на импульсы от  $\beta$ -частиц из распада  $^{212}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-} ^{212}\text{Po}$ . Полученное значение разрешения обусловлено коэффициентом неэкранировки сетки, а также малой величиной емкости коллектора, которая в значительной степени определяет соотношение сигнала к шуму.



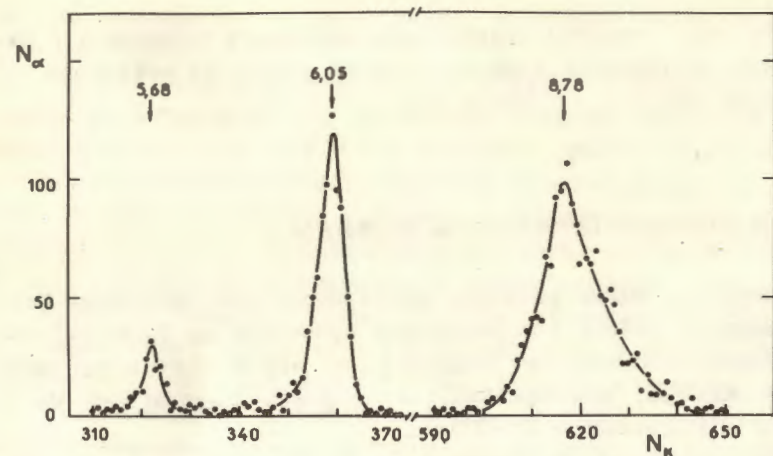


Рис. 2. Спектр  $\alpha$ -частиц из источника  $E_{\alpha} = 5,68 \text{--} 8,78 \text{ МэВ}$ .  $N_k$  - номер канала анализатора амплитуды импульсов,  $N_{\alpha}$  - число отсчетов в канале.

Существенным условием для измерений, проводимых на фоне слабоионизирующего излучения, является малое время собирания электронов в камере. Для "медленного" детектора вероятность наложения малых импульсов, происходящих от  $\gamma$ -квантов, большая, что проявляется как рост шумов, а следовательно, приводит к уширению пика от  $\alpha$ -частиц. Наша камера позволяет получать время нарастания импульсов от  $\alpha$ -частиц энергией 4,5 МэВ порядка 0,8 мкс. Это дает возможность успешно изучать реакции  $(n, \alpha)$  и  $(n, \gamma \alpha)$  на нейтронных пучках реактора ИБР-30.

При работе на импульсном пучке нейтронов разрешение по энергии  $\alpha$ -частиц  $\Delta E_{\alpha}$  изменяется в зависимости от времени запаздывания относительно импульса мощности реактора. Такая зависимость составляющей разрешения, вызванной только пучком нейтронов, от энергии нейтронов, показана на рис. 3. Облучение производилось на базах 31 и 85 м, с пиковой мощностью реактора, работающего в режиме бустера, 15 МВт и частотой импульсов 100 Гц. Видно, что для пролетного расстояния  $\ell = 85 \text{ м}$  в области энергий нейтронов нескольких сотен эВ, а также в килоэлектронвольтовой разрешение по  $E_{\alpha}$  ухудшается с ростом энергий нейтронов; для  $\ell = 31 \text{ м}$  ухудшение

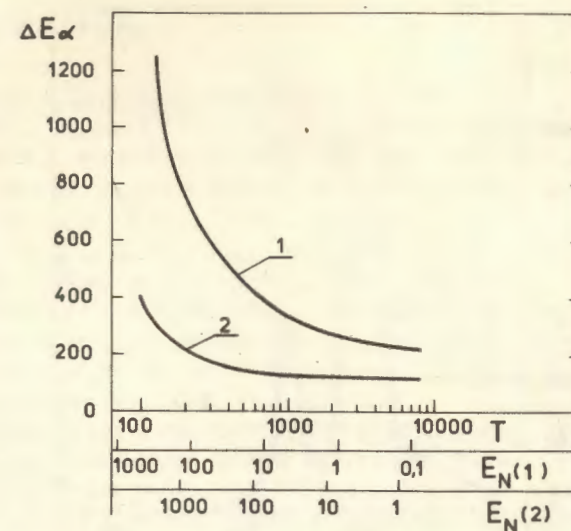


Рис. 3. Зависимость составляющей разрешения камеры по энергии  $\alpha$ -частиц  $\Delta E_{\alpha}$  /кэВ/, вызванной излучением реактора ИБР-30 от времени запаздывания относительно импульса мощности реактора  $T$  /мкс/, или энергии нейтронов  $E_N$  /эВ/ для: 1/ пролетного расстояния  $\ell = 31 \text{ м}$ ; 2/ пролетного расстояния  $\ell = 85 \text{ м}$ .

разрешения видно уже при  $E_n \sim 1 \text{ эВ}$ . На рис. 4 показан амплитудный спектр  $\alpha$ -частиц, испускаемых ядром самария в реакции  $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)$  в резонансе при  $E_n = 18,3 \text{ эВ}$ .

В измерениях мы пользовались зарядочувствительным предусилителем Polon-1001 и усилителем с активными фильтрами Polon-1101. Собственные шумы предусилителя таковы, что дают вклад в разрешение по  $E_{\alpha} \sim 40 \text{ кэВ}$  /ширина генераторного пика на половине его высоты/.

Регистрация информации с камеры производилась измерительным модулем на базе ЭВМ "Электроника", обеспечивающим возможность получить двухмерные спектры амплитуда - время /1024x4096 каналов/.

При помощи этой камеры и электронной аппаратуры впервые были измерены резонансные параметры реакции  $^{123}\text{Te}(n, \gamma \alpha)$  в резонансе 2,334 эВ<sup>11/</sup>, параметры реакции  $(n, \alpha)$  в нескольких резонансах  $^{123}\text{Te}^{12/}$ , а также измерены средние сечения /парциальные и полные/ реакции  $^{123}\text{Te}(n, \alpha)^{120}\text{Sn}$  и  $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)^{144}\text{Nd}^{13/}$ .

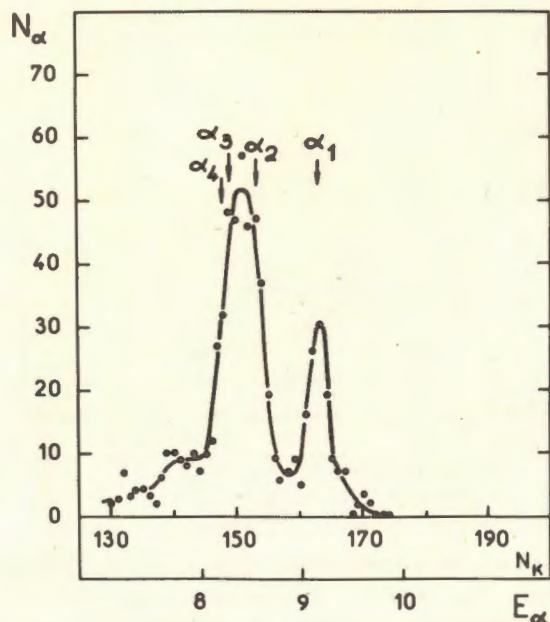


Рис. 4. Спектр  $\alpha$ -частиц из реакции  $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)$  в резонансе 18,3 эВ.  $N_k$  - номер канала анализатора,  $N_\alpha$  - число отсчетов в канале,  $E_\alpha$  - энергия  $\alpha$ -частиц /МэВ/.

Во всех этих работах были получены энергетические спектры  $\alpha$ -частиц в отдельных резонансах<sup>/11,12/</sup> или в интервалах энергии нейтронов<sup>/13/</sup>.

Благодаря большой светосиле и хорошему разрешению по  $E_\alpha$  можно проводить на цилиндрической камере также исследование естественных  $\alpha$ -излучателей, в том числе обладающих большими временами жизни. При этом путем увеличения геометрических размеров камеры площадь мишени можно увеличить в несколько раз без существенного ухудшения разрешения по  $E_\alpha$ .

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Ю.П.Попову за ценные советы и постоянное внимание к работе, К.Долецкому за подготовку электронной аппаратуры, С.Марьяновой за содействие при пуске измерительного модуля на базе ЭВМ и В.А.Воронко - за помощь при исследовании характеристик детектора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bischof J., et al. Report ÚJV 2645 F, Řež, 1971.
2. Kvitek J., Kosina L., Popov Yu.P., Report ÚJF 3303 F, Řež, 1974.
3. Oakey N.S., Macfarlane R.D. Nucl.Instr.Meth., 1967, 49, p.220.
4. Emsallem A., Asghar M. Z.Phys., 1975, A275, p.157.
5. Aldea L., et al., Z.Phys., 1977, A283, p.391.
6. Popov Yu.P. et al. Nucl.Phys., 1972, A188, p.212.
7. Kvitek J., Popov Yu.P. Nucl.Phys., 1970, A154, p.177.
8. Balabanov N.P., et al. Nucl.Phys., 1976, A261, p.35.
9. Попов Ю.П. и др. ОИЯИ, Б1-3-8769, Дубна, 1975.
10. Якунин М.И. В сб.: "Прикладная ядерная спектроскопия". Атомиздат, М., 1975, вып. 5, с.117.
11. Во Ким Тхань и др. ОИЯИ, РЗ-11381, Дубна, 1978.
12. Во Ким Тхань и др. ОИЯИ, РЗ-11644, Дубна, 1978.
13. Во Ким Тхань и др. В сб.: "Тезисы докладов XXIX Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", Л., 1979, с.294.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 мая 1979 года.