

С 344.1 ж

ПТЭ, 1967, №2, с. 94-97

2/iv-66

П-58

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2590



Ю.П. Попов, М. Стэмпинский

МНОГОСЛОЙНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ  
ДЕТЕКТОР ЗАХВАТНЫХ  $\gamma$ -ЛУЧЕЙ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1966

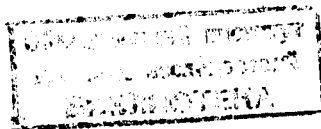
2590

Вп 1/8014

Ю.П. Попов, М. Стэмплинский

МНОГОСЛОЙНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ  
ДЕТЕКТОР ЗАХВАТНЫХ  $\gamma$ -ЛУЧЕЙ

Направлено в ПТЭ



## В в е д е н и е

Исследование радиационного захвата нейтронов атомными ядрами предъявляет к детекторам  $\gamma$ -лучей ряд специфических требований.

Наиболее подходящим детектором для таких исследований является, по-видимому, большой жидкостный сцинтилляционный детектор полного поглощения  $\gamma$ -квантов<sup>/1/</sup>. Однако сложность и громоздкость такого детектора (4000 л сцинтиллятора, многочисленны́е цилиндрические отражатели и т.д.) препятствуют его широкому использованию. Получившие распространение жидкостные детекторы меньших размеров обладают большими фонами, что заставляет либо повышать энергетический порог регистрации  $\gamma$ -квантов<sup>/2/</sup>, либо вводить совпадения между двумя половинами бака<sup>/3/</sup>. Однако это приводит, в свою очередь, к тому, что эффективность регистрации акта захвата нейтрона падает в 2-4 раза и становится зависимой от спектра захватных  $\gamma$ -лучей.

Постоянство эффективности регистрации акта захвата нейтронов ( $\epsilon$ ) можно обеспечить, если использовать детектор  $\gamma$ -лучей с эффективностью, пропорциональной их энергии,

$$\epsilon_{\gamma} = kE_{\gamma} \quad (1)$$

В этом случае  $\epsilon = kV$ , (1a)

где  $V$  - энергия связи нейтрона в ядре.

Простейшим детектором, удовлетворяющим условию (1), является гейгеровский счетчик с толщиной стенок, большей пробега электрона с энергией  $E_{\gamma}$ . К сожалению, такой счетчик обладает большим мертвым временем, что заставило отказаться от его применения в данном случае.

В исследованиях радиационного захвата нейтронов на спектрометре по времени замедления нейтронов в свинце<sup>/4/</sup> использовался толстостенный газоразрядный счетчик в пропорциональном режиме с чувствительностью к  $\gamma$ -лучам типа (1). Для случая, когда образец и детектор облучаются изотропным потоком нейтронов, цилиндрическая геометрия более выгодна с точки зрения отношения эффекта к фону.

Сцинтилляционные счетчики с графитовым радиатором и тонким сцинтилляционным слоем были подробно исследованы Моксоном и Рэем<sup>/5/</sup>. Единственным слабым местом

их является малая чувствительность к  $\gamma$ -лучам ( $\approx 0,5\%$  на 1 Мэв, или 3-4% на акт захвата нейтрона). Улучшенный вариант радиатора был предложен Мэкклиным и др. /8/. Однако эффективность продолжала оставаться малой.

Нами разработан сцинтилляционный детектор захватного  $\gamma$ -излучения с прозрачным радиатором электронов, что позволило использовать несколько (5-8) сцинтилляционных слоев и существенно увеличить эффективность регистрации акта захвата нейтрона. Для такого типа детекторов наилучшим радиатором является, по-видимому, вода. Для уменьшения чувствительности к нейтронам необходимо отравлять воду соединениями лития, либо использовать тяжелую воду (достаточно с обогащением 90%). Исследования характеристик многослойного детектора проводились на образце с обычной дистиллированной водой. Чувствительность к нейтронам проверялась для дистиллированной воды и воды, отравленной литием.

#### Конструкция детектора

Конструктивное оформление многослойного детектора  $\gamma$ -лучей представлено на рис. 1. В дюралевый бак наливалась дистиллированная вода и опускалась кассета со слоями сцинтиллятора толщиной 0,5 мм из пластмассы с тетрафенилбутадиеном. Сцинтилляционный слой находился также на поверхности фотокатода умножителя (ФЭУ-2Б). В качестве отражателя света использовался тефлон.

Принцип работы детектора, коротко, состоит в следующем. Гамма-квант, попадая в детектор, выбивает из радиатора электроны (в основном за счет комптон-эффекта), часть из которых, попадая в сцинтиллятор, вызывает световую вспышку, регистрируемую фотоумножителем. При этом чем больше энергия электрона, тем из большей глубины радиатора он может попасть в сцинтиллятор, тем больше эффективность регистрации  $\gamma$ -кванта. Пробег электрона от  $\gamma$ -кванта с энергией 0,5 Мэв и ниже становится  $\leq 1$  мм, поэтому оказывается заметным вклад самого сцинтиллятора в конверсию  $\gamma$ -лучей в электроны и зависимость (1) начинает нарушаться.

В многослойном детекторе большая общая толщина радиатора приводит к заметно-му ослаблению потока мягких  $\gamma$ -квантов на слой сцинтиллятора, расположенные ближе к ФЭУ. Это, а также поглощение света в воде и последующих слоях сцинтиллятора приводит к ограничению числа использованных слоев. Некоторая компенсация эффекта поглощения мягких  $\gamma$ -квантов может быть осуществлена путем неравномерного распределения слоев - уменьшения расстояния между ними вблизи поверхности, на которую падают  $\gamma$ -кванты. В нашем случае для водяного радиатора при числе слоев сцинтиллятора 6 и расстоянии между ними 10-20-20-20-80 мм (см. рис. 1) эффективность регистрации  $\gamma$ -лучей с  $E_\gamma > 1$  Мэв поднялась в 5 раз по сравнению с однослойным детектором, в то время как для  $\gamma$ -лучей с  $E_\gamma = 0,66$  Мэв эффективность поднялась в 4 раза.

#### Характеристики многослойного детектора

Амплитудное распределение импульсов при облучении многослойного детектора  $\gamma$ -квантами  $Co^{60}$  представлено на рис. 2 (кривая Б). Такое распределение заметно отличается от распределения для однослойного детектора (кривая А, масштаб - произвольный) в связи с отсутствием отражателя поверх сцинтилляционного слоя, а также поглощения в воде света, идущего от верхних сцинтилляционных слоев. Спадающая форма кривой Б заставляет более внимательно отнестись к стабильности работы аппаратуры. Измерения показали, что стабильность с точностью в 2% в течение 17 часов непрерывной работы может быть обеспечена с обычной заводской аппаратурой (выпрямитель ВС-22, усилитель УИС-2).

Измерение зависимости эффективности детектора от энергии  $\gamma$ -квантов для  $E_\gamma < 4,5$  Мэв проводилось с помощью постоянных источников  $\gamma$ -лучей:  $Ca^{137}$  ( $E_\gamma = 0,67$  Мэв),  $Co^{60}$  ( $E_\gamma = 1,17$  и  $1,33$  Мэв),  $Na^{24}$  ( $E_\gamma = 1,4$  и  $2,8$  Мэв),  $\gamma$ -лучей от  $Re-a-W$ -источника нейтронов ( $E_\gamma = 4,4$  Мэв). Результаты измерения приведены на рис. 3. Видно, что эффективность нашего детектора в 5-8 раз превышает эффективность детектора Моксон-Рэя. Небольшое понижение эффективности для  $\gamma$ -лучей цезия объясняется поглощением  $\gamma$ -квантов в верхних слоях радиатора. В значении  $\epsilon_\gamma$  для  $E_\gamma = 4,4$  Мэв вносилась поправка на регистрацию нейтронов (см. ниже).

Для проверки зависимости (1) в более широком диапазоне энергий использовались  $\gamma$ -лучи от радиационного захвата нейтронов в различных изотопах с энергией связи нейтронов от 5,0 Мэв до 11,17 Мэв,  $La^{139}$  (5,0 Мэв),  $Tb^{160}$  (6,26 Мэв),  $Ag^{109}$  (6,82 Мэв),  $Mo^{95}$  (8,15 Мэв),  $Te^{123}$  (8,4 Мэв),  $Sr^{87}$  (11,17 Мэв).

На импульсном реакторе ОИЯИ методом времени пролета проводились измерения нейтронных резонансов с известными параметрами. Результаты обрабатывались двумя методами - методом "черного образца" ( $\nu_0 \gg 1$ ) и методом площади под резонансной кривой. Результаты измерения приведены на рис. 4. Таким образом, в широком диапазоне энергий связи наш детектор показывает постоянство эффективности регистрации акта захвата, отнесенной к 1 Мэв.

Чувствительность детектора к нейтронам является важной характеристикой, особенно при измерении сечений захвата в области больших энергий нейтронов, где число рассеянных в детектор нейтронов может значительно превышать число захватных  $\gamma$ -квантов. Измерение чувствительности к нейтронам было проведено для детектора объемом 8 л с радиатором из обычной дистиллированной воды с помощью  $Re-a-W$  источника нейтронов. При этом фон от  $\gamma$ -лучей источника измерялся с помощью однослойного детектора с радиатором из графита, практически нечувствительного к нейтро-

нам. Результаты показали, что чувствительность многослойного детектора с водяным радиатором к быстрым нейтронам составляет  $\approx 1,5\%$ .

Для варианта детектора размером 20 литров (на двух ФЭУ-49), заполненного дистиллированной водой, эффективность к нейтронам с энергией порядка нескольких эв составляла 7%, а после "отравления" воды азотнокислым литием (около 240 г/л) эффективность упала до 0,5%.

Помимо обычного, описанного выше, механизма регистрации  $\gamma$ -излучения для детектора с прозрачным радиатором, существует и другой механизм: жесткие  $\gamma$ -лучи могут регистрироваться за счет черенковского излучения. Измерения показали, что вклад черенковского излучения для  $E_\gamma = 4,4$  Мэв составляет 6% от эффективности регистрации сцинтилляционным методом.

Более существенный вклад черенковского излучения будет наблюдаться в случае использования в качестве радиатора прозрачных веществ с большим коэффициентом преломления (кварц, стекло и т.д.). Это приведет к тому, что вклад регистрации жестких  $\gamma$ -квантов, благодаря черенковскому излучению, может заметно исказить зависимость (1). Можно попытаться компенсировать этот эффект некоторым уменьшением толщины радиатора. Но отсутствие монохроматичных источников  $\gamma$ -лучей в диапазоне 5-12 Мэв не позволяет это сделать достаточно надежно.

#### З а к л ю ч е н и е

Независимость эффективности регистрации акта захвата от спектра  $\gamma$ -лучей и слабая чувствительность к нейтронам привели к тому, что в последнее время детектор Моксона и Рэя получил распространение в ряде лабораторий, несмотря на малую эффективность к  $\gamma$ -лучам. Описанный здесь вариант детектора позволил существенно повысить эффективность регистрации акта захвата нейтрона, которая теперь приблизилась к эффективности детекторов с жидким сцинтиллятором (например, /3/).

Кроме того, можно отметить, что многослойный детектор прост в изготовлении и эксплуатации, имеет известную эффективность к  $\gamma$ -лучам. Помимо исследования радиационного захвата нейтронов, описанный детектор может с успехом применяться при исследовании других реакций с вылетом  $\gamma$ -квантов.

#### Л и т е р а т у р а

1. E.Haddad, R.B.Walton, S.J.Frisenhan, BAPS II 8, 40 (1963).
2. J.H.Gibbons, R.L.Macklin, P.D.Miller, J.H.Neller. Phys. Rev., 122, 182 (1961).

3. Л.Б. Пикельнер, М.И. Пшитула и др. ПТЭ № 2, 48 (1963).

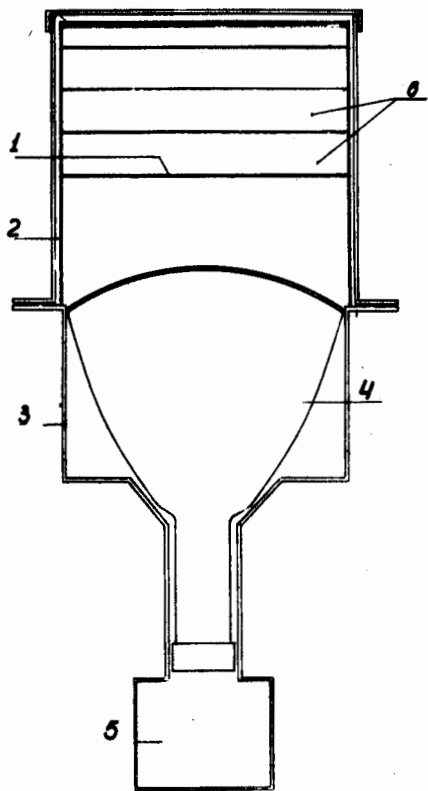
4. Н.Т. Кашукеев, Ю.П. Попов, Ф.Л. Шапиро.

Journal of Nuclear Energy, A14, 76 (1961).

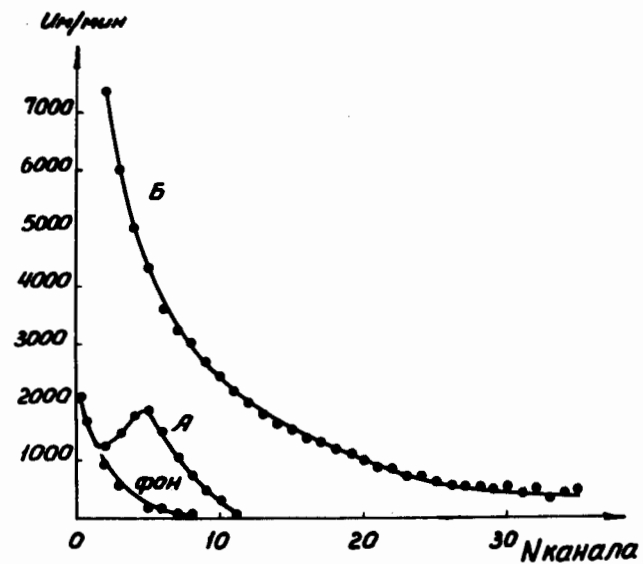
5. M.C.Moxon, E.R.Rae. Neutron time-of-flight Methods, p.439, Euratom, Brussel (1961).

6. R.L.Macklin, J.H.Gibbons, T.Inada, Nucl. Phys., 40, 353 (1964).

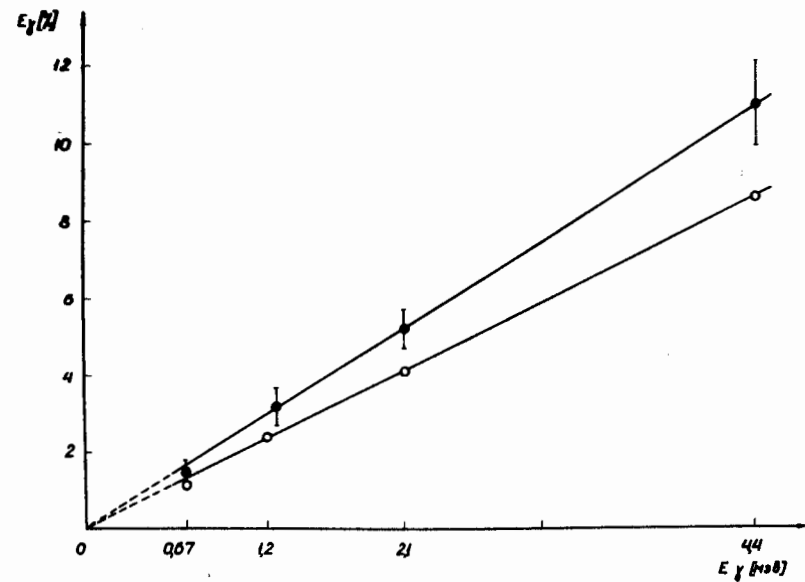
Рукопись поступила в издательский отдел  
22 февраля 1966 г.



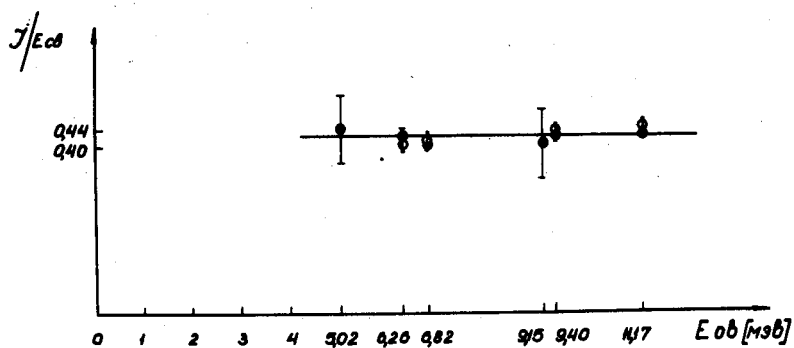
Р и с. 1. Вид детектора: 1 - пленка пластического сцинтиллятора; 2 - тефлоновый отражатель; 3 - кожух ФЭУ; 4 - фотоумножитель типа ФЭУ-2Б; 5 - эмиттерный повторитель; 6 - дистиллированная вода.



Р и с. 2. Спектр  $\gamma$ -лучей источника  $Co^{60}$ : кривая А -  $\gamma$ -спектр, полученный для одного слоя; кривая Б -  $\gamma$ -спектр, полученный с многослойного детектора.



Р и с. 3. Зависимость эффективности многослойного детектора от энергии  $\gamma$ -лучей. ● - порог дискриминатора 5в. ○ - порог дискриминатора 7 в.



Р и с. 4. Зависимость чувствительности к  $\gamma$ -лучам на 1 Мэв от энергии связи нейтрона. ○ - обработка результатов методом черного образца; ● - обработка результатов методом площадей.