

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

Экз. чит. зала

11 - 4665



В.И.Кочкин, Ю.В.Рябов, И.И.Шелонцев

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТНОГО
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА
НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

1969

11 - 4665

В.И.Кочкин, Ю.В.Рябов, И.И.Шелонцев

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТНОГО
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА
НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ

Направлено на Второе всесоюзное совещание
по методам Монте-Карло. Сухуми, октябрь 1969 года

ОИЯИ
БИБЛИОТЕКА

I. ВВЕДЕНИЕ

Важной составной частью экспериментального оборудования ядерной физики являются всеволновые нейтронные детекторы. Жидкостные сцинтилляторы большого объема, нагруженные кадмием, гадолинием или самарием, наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к подобным детекторам. Однако эти детекторы представляют собой сложные дорогостоящие устройства, характеристики которых заранее нельзя предсказать с удовлетворительной точностью.

Описываемый детектор, сооруженный в 1960 году, был первым нейтронным детектором, используемым в исследованиях методом времени пролета. Предварительный расчет геометрии детектора, времени жизни нейтронов спектра деления до захвата, эффективности регистрации нейтронов и времени замедления - все это имело важное значение.

С учетом результатов проведенного расчета были выбраны конструкция детектора и состав жидкостного сцинтиллятора, т.е. практически - оптимальные условия проведения всего эксперимента:

2. Физика детектора.

Детектор состоит из двух баков, в виде усеченных конусов, объемом 250 л каждый. Они имеют внутренний продольный канал для помещения исследуемого образца в геометрии, близкой к 4π . Объем каждого блока просматривается четырьмя фотоумножителями, регистрирующими сцинтилляционные вспышки от γ -лучей захвата кадмием замедлившихся нейтронов деления и мгновенного γ -излучения исследуемого образца. Это позволяло исследовать как число делений, происходящих в образце, так и число радиационных захватов ^{113}Cd . Для исключения ложных эффектов, связанных с обратным рассеянием замедлившихся нейтронов деления на образец, между образцом и чувствительным объемом детектора помещался слой соединения бора, поглощающего медленные нейтроны. Схема детектора приведена на рис. 1.

3. Методика расчета.

Время жизни τ и эффективность регистрации нейтронов ϵ_n являются функциями геометрии детектора и состава сцинтиллятора, энергетической зависимости сечений поглощения и рассеяния отдельных его компонент.

Функциональные выражения для τ и ϵ_n можно, по крайней мере теоретически, записать в виде многомерных интегралов. Однако не только нахождение этих интегралов, но и явная их запись представляют значительные трудности, поэтому для нахождения τ и ϵ_n был применен метод статистических испытаний путем

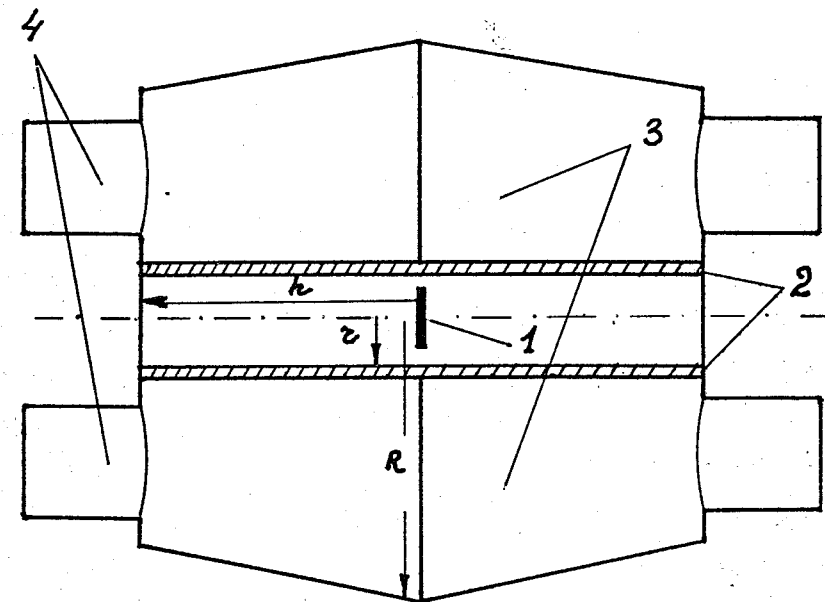


Рис. 1. Схема детектора нейтронов деления.

1. Образец — источник нейтронов деления.
2. Фильтр из карбида бора, поглощающий медленные нейтроны.
3. Жидкостный сцинтиллятор.
4. Фотоумножители.

стандартного прослеживания "судьбы" отдельных нейтронов и набора статистики. Датчик случайных чисел, применявшийся нами, описан в работе^{/2/}. Использовались следующие начальные числа:

0,913 423 782; 0,927 842 634; 0,917 043 055;
 0,929 041 314; 0,917 575 374; 0,931 749 397;
 0,971 254 034; 0,946 881 612; 0,935 847 286;
 0,962 074 415; 0,659 617 348; 0,857 834 761.

Все получавшиеся последовательности случайных чисел дали хорошие результаты, и эти 12 начальных чисел могут быть рекомендованы для применения

Вначале с помощью двух случайных чисел определялось направление вылета нейтрона из мишени. Из совместного решения уравнения цилиндра с радиусом r и прямой находилась точка влета нейтрона в детектор. Далее расчет велся в декартовых координатах XYZ. Он подобен описанному в работах^{/2,3/}. Нейтрон стартовал в нулевой момент времени с заданной энергией, средним пробегом в сцинтилирующей среде до столкновения, испытывал последовательно рассеяние на ядрах водорода, углерода или кислорода и терял соответствующую энергию, захватывался ядрами водорода или кадмия, испытывал новое рассеяние или покидал объем детектора. Далее процедура повторялась в новый момент времени для нейтрона с полученной энергией. В том случае, когда нейтрон в процессе замедления покидал объем детектора, рассмотрение "судьбы" этого нейтрона прекращалось, но при определении эффективности такой нейтрон обязательно учитывался. В расчетах сечение захвата нейт-

ронов на водороде считалось постоянным в рассматриваемой области энергий и равным 0,3 барн. Сечение захвата кадмия ниже 1 эв аппроксимировалось ступенчатой функцией с максимальным сечением 2540 барн. Протонная плотность раствора была принята равной $5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$; плотность по CH_2 равнялась 1 г/см^3 . Так как нейтроны деления быстрые ($E_n \gg 0,05 \text{ Мэв}$), то временем пролета их от мишени до чувствительного объема детектора пренебрегалось.

4. Результаты и обсуждения.

Расчет показывает, что среднее время замедления нейтрона до энергий, близких к 1 эв, практически не зависит от первоначальной энергии попадающего в сцинтиллятор нейтрона и только незначительно превышает разрешающее время применяемого электронного тракта детектора. Рассчитанное время замедления нейтронов в сцинтиллирующей среде детектора от первоначальной энергии E_0 до E_i приводится в следующей таблице:

Энергия нейтрона E_i (Мэв)	10	5	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,000001
Время замедления от E_0 до E_i (мксек)	0	0,007	0,012	0,020	0,041	0,104	0,280	0,525

Как следует из таблицы, начальный разброс энергий попада-

ющих в детектор нейтронов - от 0,01 до 10 Мэв (минимальная и максимальная энергия в спектре мгновенных нейтронов деления) практически не влияет на время замедления.

На рис. 2 представлены в виде гистограммы результаты расчета зависимости относительного числа поглощенных на интервал Δt мксек нейтронов от времени для четырех концентраций кадмия

$$\alpha = \frac{N_{Cd}}{N_H} = 0,001; 0,003; 0,006 \text{ и } 0,01.$$

Крутой рост гистограммы и более медленный экспоненциальный спад говорят о том, что захват нейтронов ядрами водорода и кадмия в процессе замедления пренебрежимо мал и становится существенным лишь для нейтронов с энергией менее 1 эв, когда относительное сечение кадмия достаточно велико ($\alpha \frac{\sigma_{Cd}}{\sigma_H} \gg 1$).

Поэтому происходит некоторая группировка нейтронов по времени жизни, и гистограмма приобретает более сложный вид, чем, например, для боросодержащего сцинтиллятора, где зависимость поглощения нейтронов от времени жизни описывается чистой экспонентой [4].

Для получения достаточно высокой эффективности и малой зависимости её от энергии регистрируемого нейтрона необходимо, чтобы линейные размеры детектора в несколько раз превышали среднее расстояние по прямой, которое проходит нейтрон в процессе замедления. В интересующем нас интервале энергий это расстояние составляло от 3 до 11 см.

Поэтому толщина чувствительного слоя детектора выбиралась равной ~ 40 см, что также хорошо удовлетворяло условию регистра-

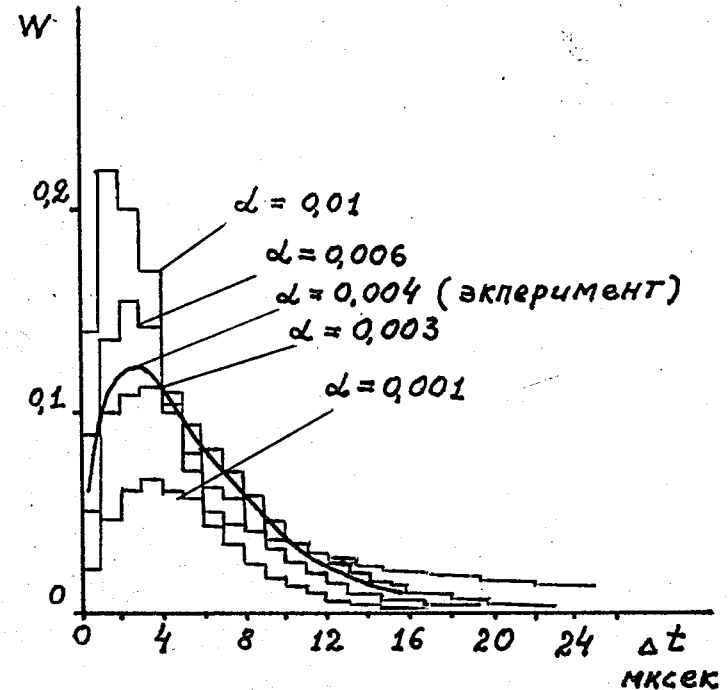


Рис.2. График зависимости вероятности захвата от времени.

Расчетные гистограммы для концентраций кадмия

$\alpha = 0,001; 0,003; 0,006 \text{ и } 0,01;$

сплошная линия - экспериментальная кривая для $\alpha = 0,004$.

ции γ -лучей радиационного захвата замедлившихся нейтронов ядрами кадмия, свободный пробег которых (γ -лучей) в органическом сцинтилляторе не превышает 20-25 см.

Расчитанные эффективности регистрации нейтронов для указанных выше концентраций кадмия и выбранной геометрии детектора составляли соответственно 0,46; 0,79; 0,91 и 0,95 за временной интервал 20 мксек.

Расчет показывает, что около 2% нейтронов в процессе замедления могут вернуться на образец с более низкой энергией, а значит, и более эффективно будут участвовать в реакции, что может существенно исказить результаты измерений. Специальный расчет, проведенный для той же геометрии детектора, но со слоем карбида бора между образцом и чувствительным объемом толщиной 0,5 и 1,5 см, показал, что в этом случае эффективность регистрации нейтронов уменьшится не более, чем на 6%, в то время как обратное рассеяние на образец уменьшается в 50-100 раз.

На основе проведенных расчетов был изготовлен детектор в виде двух усеченных конусов диаметром $D = 110$ см, $d = 80$ см, высотой $2h = 100$ см и внутренним продольным каналом диаметром 22 см. Выбранная концентрация кадмия $\alpha = 0,004$ должна была обеспечивать среднее время жизни $\tau \sim 8-10$ мксек.

Экспериментально определенные характеристики этого детектора хорошо совпадали с расчетными. Методы определения времени жизни и эффективности регистрации нейтронов подробно описаны в работе /1/.

На рис. 2 для сравнения приведена также экспериментальная кривая времени жизни нейтрона до захвата для $\alpha = 0,004$, снятая

методом задержанных совпадений. Видно, что наблюдается хорошее согласие экспериментальной кривой и расчетных гистограмм.

Эффективность регистрации нейтронов, измеренная с помощью камеры деления, равняется 0,69, что также является хорошим согласием с расчетом, если принять во внимание величину электронных порогов регистрации нейтронов (расчет проводится для нулевого порога регистрации).

Результаты работы показывают, что расчеты методом Монте-Карло позволяют с достаточной точностью предсказывать физические характеристики сложных экспериментальных устройств, к которым относятся всеволновые нейтронные детекторы.

Авторы выражают признательность Н.Ю.ШИРИКОВОЙ за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а:

1. Ван Ши-ди, Ю.В.Рябов.
ПТЭ, № 4, стр. 63, 1965 г.
2. В.И.Кочкин, А.Б.Попов, И.И.Шелонцев.
Препринт ОИЯИ 744, Дубна, 1961 г.
3. В.И.Кочкин, А.Б.Попов, И.И.Шелонцев.
Препринт ОИЯИ, II-4602, Дубна, 1969 г.
4. Ю.А.Егоров.
Сцинтилляционный метод спектрометрии гамма-излучения
и быстрых нейтронов. Госатомиздат, 1963 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 августа 1969 г.