

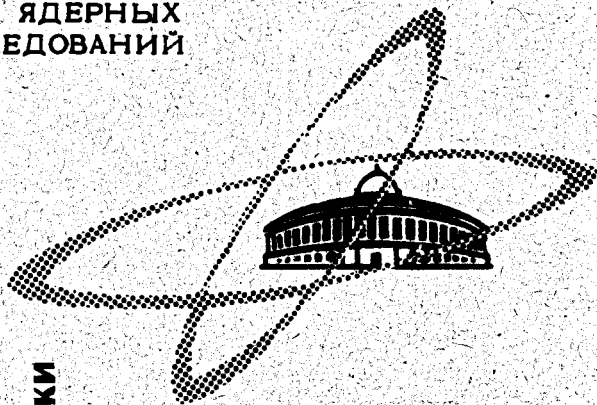
K-758

13/x.69

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

11 - 4602



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

В.И.Кочкин, А.Б.Попов, И.И.Шелонцев

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК
СЛОИСТОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ

1969

11 - 4602

В.И.Кочкин, А.Б.Попов, И.И.Шелонцев

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК
СЛОИСТОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ

Направлено на II-ое Всесоюзное совещание
по методам Монте-Карло
(Сухуми, октябрь 1969 г.)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

8001/2 чр

1. Введение

Данная работа представляет собой часть исследований по конструкции и характеристикам нейтронных детекторов, являющихся важной составной частью экспериментального оборудования ядерной физики. Исследования преследовали цель: во-первых, для заданного состава и размеров детектора определить время жизни нейтронов и эффективность детектора - эти две характеристики являются взаимоисключающими друг друга, так что, уменьшая время жизни нейтронов, приходится мириться с уменьшением эффективности; во-вторых, путем некоторого изменения размеров, состава и конструкции детектора выбрать оптимальные характеристики (здесь понятие оптимальности применимо, конечно, только к определенной группе экспериментов).

2. Физическое обоснование детектора

Имеются диски трех сортов: а) из полиэтилена - CH_2 ; б) из кадмия - Cd ; в) из индия - In . Диаметр дисков - D_0 (см); толщины дисков: из полиэтилена - t_1 (см), из кадмия - t_2 (см), из индия - t_3 (см). Из дисков набирается цилиндр, в котором слой чере-

дуются так: полиэтилен - кадмий - полиэтилен - индий, полиэтилен - кадмий - полиэтилен - индий и т.д.,

$$\sum_{i=1}^n t_i = \ell,$$

где ℓ - общая длина цилиндра.

Нейтроны энергии E_0 падают перпендикулярно к торцу цилиндра, равномерно по площади и далее замедляются в полиэтилене и поглощаются в кадмии и индии, причем при захвате нейтрона в поглотителе рождаются четыре гамма-кванта, разлетающихся изотропно и детектирующихся с помощью кристаллов иодистого натрия или жидкостным детектором большого объема. Время, прошедшее от входа нейтрона в детектор до поглощения, является важной характеристикой. Целью расчетов является получение гистограммы времен жизни нейтронов и среднего времени жизни до захвата τ :

$$\tau = \frac{(\sum t_i) \text{ поглотившихся}}{N \text{ поглотившихся}} = f_1(E_0, D_0, t_1, t_2, t_3, \sum t_i),$$

где τ_1 - время блуждания нейтрона в цилиндре до захвата. В большинстве случаев уменьшение времени жизни является положительным фактором.

Отношение числа поглощенных нейтронов к числу падающих (вероятность поглощения нейтронов в цилиндре) есть эффективность ϵ детектора, равная:

$$\epsilon = \frac{N \text{ поглотившихся}}{N \text{ упавших}} = f_2(E_0, D_0, t_1, t_2, t_3, \sum t_i).$$

Большая эффективность является желательной, т.к. позволяет сократить время эксперимента.

3. Методика расчета

Применялась стандартная методика прослеживания траектории нейтрона с момента входа в детектор до гибели нейтрона или выхода его наружу. Расчеты проводились на машине М-20 (БЭСМ-4). Разыгрывались пробег нейтрона, выбор ядра для столкновения и характер взаимодействия: упругое рассеяние или поглощение. В случае, если после разыгрывания пробега нейтрон перешел в другую среду, находилась точка входа и пробег определялся заново в новой среде.

Сечения взаимодействия с ядрами в зависимости от энергии давались таблицей, взятой из известных источников ^{/1/}. Велся счет координат нейтрона, его энергии и времени жизни. Следует упомянуть, что если пробег нейтрона много больше толщины слоев, лучше применять методику фиктивных ядер ^{/2/}, т.к. на одно столкновение приходится разыгрывать несколько пробегов.

Для определения точки входа нейтрона в детектор, для вычисления длины пробега и т.д. нужна последовательность случайных чисел $\{\gamma_1\}$, равномерно распределенных в интервале (0,1). На основе модифицированного метода Лемера ^{/4/} для машины М-20 нами был построен генератор случайных чисел $\{\gamma_1\}$. В кодах М-20 генератор имеет вид:

в	1	00	0000	0000	0003
в+1	0	54	0111	γ	а
в+2	0	13	а	γ	а
в+3	0	13	в	а	а
в+4	0	23	а	0000	γ

Здесь (а) - рабочая ячейка, (γ) - адрес очередного случайного числа и результата. Начальное γ_0 перед работой засылается в (γ); γ_0 берется из таблицы случайных чисел. Так, для $\gamma_0 = 0,931281846$ длина периода последовательности $\{\gamma_1\}$, удовлетворяющей системе тестов ^{/3/},

$\approx 0,4 \times 10^6$. Взяв из таблицы случайных чисел другие начальные γ_0 , можно получать новые последовательности псевдослучайных чисел, если в какой-либо задаче требуется большее количество их.

Судьба нейтрона в детекторе прослеживалась в координатной системе XYZ (ось Z направлена по оси цилиндра). Схема расчета следующая:

1. Берется начальный нейтрон с энергией E_0 . Координаты точки входа

$$x_0 = R \sqrt{\gamma_1} \cos 2\pi \gamma_2,$$

$$y_0 = R \sqrt{\gamma_1} \sin 2\pi \gamma_2,$$

$$z_0 = 0,$$

где $R = D_0/2$, направляющие косинусы $\ell_0=0$, $m_0=0$, $n=1$.

2. В зависимости от среды и энергии находится сечение Σ и вычисляется пробег нейтрона $l/2$.

3. Определяются новые координаты по пробегу; проверяется, перешел ли нейтрон из данной среды в другую (для заданного фиксированного расположения слоев текущий восьмеричный номер слоя является признаком сорта среды; в нашем случае две последние восьмеричные цифры, 01 и 11, служат признаком полиэтилена, 10 - кадмия и 00 - индия).

4. Если среда новая, определяются координаты пересечения траектории с ближайшей по направлению плоскостью раздела сред и производится смена номера среды на номер следующей или предыдущей. Проверяется, вышел ли нейтрон за пределы детектора, вычисляется время жизни

$$\Delta \tau_1 = \frac{|\Delta r|}{v}.$$

Связь скорости и энергии нейтрона принималась равной

$$V = 1,384 \cdot 10^4 \sqrt{E} \left[\frac{\text{м}}{\text{сек}} \right],$$

где E — в эв.

5. Если среда старая, производится проверка, вышел ли нейтрон за пределы детектора, и расчет взаимодействия (рассеяние или поглощение). При рассеянии определяем новые направляющие косинусы следующим образом: азимутальный угол $\chi = 2\pi\gamma_3$, угол рассеяния

$$\cos \psi = \frac{A\gamma_4' + 1}{\sqrt{A^2 + 2A\gamma_4' + 1}},$$

тогда новые косинусы выражаются через старые по формулам

$$l_{i+1} = l_i \cos \psi + \sqrt{1 - l_i^2} \sin \psi \cos \chi,$$

$$m_{i+1} = m_i \cos \psi - \frac{\sin \psi}{\sqrt{1 - l_i^2}} (l_i m_i \cos \chi - n_i \sin \chi),$$

$$n_{i+1} = n_i \cos \psi - \frac{\sin \psi}{\sqrt{1 - l_i^2}} (l_i n_i \cos \chi + m_i \sin \chi).$$

Новая скорость

$$v_{i+1} = v_i \frac{\sqrt{A^2 + 2A\gamma_4' + 1}}{A + 1},$$

где $\gamma_4' = 2\gamma_4 - 1$; при $v_i < 2200 \left[\frac{\text{м}}{\text{сек}} \right]$ $v_{i+1} \equiv v_i$ (A — атомный вес ядра, на котором произошло рассеяние).

6. Для заданной начальной энергии E_0 набирается необходимая статистика по числу поглощенных нейтронов.

Таким образом, определение ϵ и τ детектора есть пример расчета случайного процесса методом статистических испытаний (метод Монте-Карло).

Рабочая программа составлена в кодах машины М-20.

4. Результаты расчетов

Расчеты проведены для нескольких наборов толщин замедляющих и поглощающих слоев с разной суммарной толщиной. Счет велся для разных начальных энергий нейтронов. Расчет проводился до первых 100 поглощений нейтронов. Эти расчеты позволили проследить зависимость вероятности поглощения нейтронов ϵ и их времени жизни τ от энергии нейтронов и характеристики среды. В результате установлено, что с уменьшением толщины слоев при сохранении общей толщины блока происходит существенное уменьшение времени жизни нейтронов в среде. Уменьшение толщины от 0,2 до 0,01 см приводит к трехкратному сокращению времени жизни. При этом видно, что уменьшение толщин слоев на величину меньше 0,05 см несущественно влияет на ϵ и τ .

На рис. 1 и 2 приведены в качестве примера зависимости ϵ и τ от начальной энергии нейтронов для нескольких блоков.

В целом расчеты показали, что вполне возможно создание нейтронного детектора описанного здесь типа с высокой эффективностью ($\epsilon = 25\%$ при $E = 1$ кэв, при условии, что эффективность регистрации γ -лучей захвата 50%) и малым временем жизни ($\tau < 1$ мксек).

Авторы выражают благодарность Н.Ю. Шириковой за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. D. Hyghes, R.Schwartz. Neutron Cross Sections, BNL-325 (1958).
2. В.И. Кочкин, А.Б. Попов, И.И. Шелонцев. Препринт ОИЯИ, Р-744, Дубна, 1961.

3. И.М. Соболев. Теория вероятностей и ее применения, т. III , вып. 2, 1958.
4. A. Rotenberg. Journal of the Association for Computing Machinery, p.p. 75-77. January 1960, vol. 7, No.1;
R.R. Coveyou. J. of ACM, p.p. 72-74, January 1960, v.7, No.1.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 июля 1969 года.

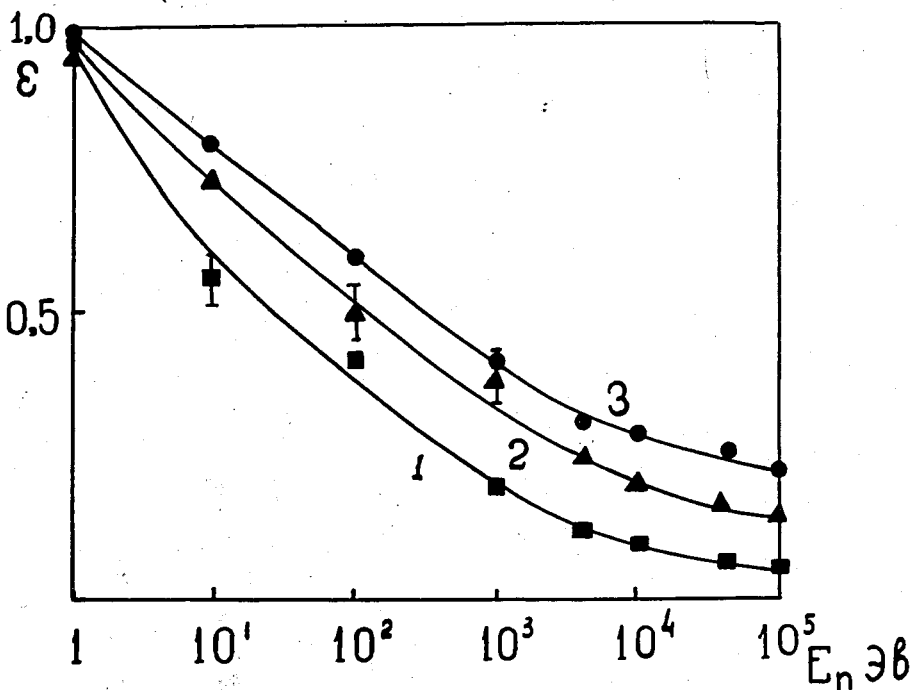


Рис.1. Зависимость вероятности поглощения нейтронов от энергии в блоке $D_0 = 10$ см, 1 - толщины слоев: полиэтилена $t_1 = 0,01$ см, кадмия $t_2 = 0,01$ см, индия $t_3 = 0,01$ см; полная толщина слоев $\ell = 3,0$ см. 2. $t_1 = t_2 = t_3 = 0,05$ см; $\ell = 6,0$ см. 3. $t_1 = 0,05$; $t_2 = t_3 = 0,025$; $\ell = 6,0$ см.

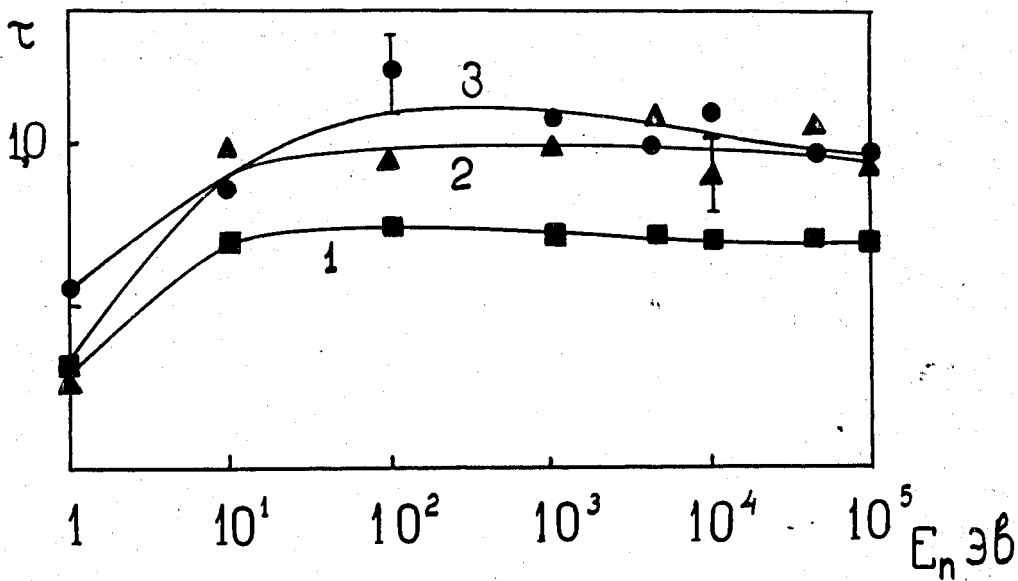


Рис.2.Время жизни нейтронов (в мксек) в зависимости от энергии.
 Характеристики среды для кривых 1-3 те же, что и на рис. 1.