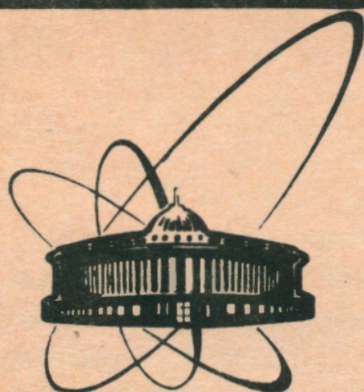


92-325



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

P3-92-325

А.В.Даниэль*, Э.М.Козулин, А.В.Кузнецов*

РАСЧЕТ ФУНКЦИИ ОТКЛИКА
НЕЙТРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ
НА ОСНОВЕ
ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

*Радиевый институт им.В.Г.Хлопина,
Санкт-Петербург

1992

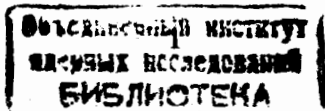
ВВЕДЕНИЕ

Сложные детектирующие системы нейтронов на основе жидких органических сцинтилляторов находят все более широкое применение в ядерной физике благодаря их хорошему ($n-\gamma$)-разделению, высокой эффективности и относительно хорошему энергетическому разрешению. Успешное использование таких систем предполагает знание их эффективности и функции отклика. Экспериментальное определение этих параметров с высокой точностью представляет собой сложную задачу. Для определения этих параметров успешно используются численные методы¹⁻⁸, причем уточнение методик продолжается до настоящего времени⁹. Следует отметить, что большинство работ посвящено анализу одиночных детекторов небольших размеров.

Последовательный расчет эффективности и функции отклика детекторов на основе жидких органических сцинтилляторов включает следующие шаги.

Расчет распространения нейтронов в детекторе. В случае одиночного детектора многократное перерассеяние нейтронов в детекторе незначительно и приводит только к некоторому искажению идеальной формы функции отклика, которое хорошо считается и не мешает принципиально процедуре восстановления спектра и множественности. Иная ситуация возникает при создании детектирующей системы, состоящей из большого числа отдельных модулей, особенно при использовании позиционно-чувствительных модулей больших размеров. В данном случае корректный учет перерассеяния нейтронов как между детекторами, так и в пределах одного детектора становится важнейшим фактором.

Расчет энергии заряженных частиц (протонов, дейтронов α -частиц) и ядер отдачи, образующихся в реакциях нейтрона с



ядрами водорода и углерода. Реакции рассматриваются кинематическими методами^{7,8} с привлечением, в ряде случаев, данных о энергетическом и угловом распределении вторичных нейтронов.

Расчет световых выходов от заряженных частиц и ядер отдачи. Традиционно используются различные аппроксимации экспериментальных данных^{1,4,7,9}.

Последний шаг - это оценка светосбора¹⁰. Этот шаг наиболее существен в случае позиционно-чувствительных детекторов больших размеров.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Перенос нейтронов. Распространение нейтронов в детектирующей системе моделировалось нами с помощью модулей, входящих в комплекс программ SITNA¹¹. Комплекс программ позволяет моделировать перенос нейтронов в многогрупповом приближении методом Монте-Карло. В программе используется 175-групповая система констант, с подгрупповым описанием области резонансов, подготовленная на основе файла оцененных нейтронных данных ENDL-84. Особенностью программы, полезной в нашем случае, является то, что после моделирования пробега нейтрона в точке взаимодействия разыгрывается нуклид, с которым произошло столкновение. Моделирование реакции выполняется на основе индивидуальных данных о нуклиде. В 175-групповой системе констант учтены все типы реакций нейтрона с ядрами водорода и углерода, включенные в файл ENDL-84. Такой подход позволяет наиболее просто включить блок расчета энергии заряженных частиц и ядер отдачи.

Энергия заряженных частиц и ядер отдачи. В работе были учтены следующие реакции, приводящие к образованию заряженных частиц и ядер отдачи.

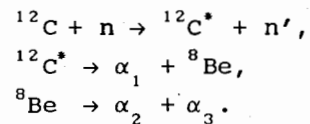
${}^1\text{H}(n,n){}^1\text{H}$: Данные по угловому распределению рассеянных нейтронов в системе центра масс (СЦМ) включены в систему 175 групповых констант. Данные представлены в виде таблиц косинусов углов C_i для каждой энергетической группы, где

рассеяние анизотропно, таких, что вероятности рассеяния в интервалы $C_i - C_{i-1}$ равны между собой. Этой информации достаточно для расчета энергетического спектра протонов отдачи.

${}^{12}\text{C}(n,n){}^{12}\text{C}$: Данные по угловому распределению упруго рассеянных нейтронов в СЦМ включены в систему 175 групповых нейтронных констант.

${}^{12}\text{C}(n,n'){}^{12}\text{C}$: Угловое распределение неупруго рассеянных нейтронов, на выделенных уровнях, предполагается изотропным в СЦМ. Учитывается 6 выделенных уровней энергии на углероде.

${}^{12}\text{C}(n,n'\alpha)$: Данная реакция моделируется традиционно⁸, как последовательность двух частичных распадов:



Энергетическое распределение нейтронов задано в 175-групповой системе нейтронных констант в виде матрицы переходов. Предполагается, что ${}^8\text{Be}$ образуется в основном состоянии, а угловое распределение нейтронов и α -частиц изотропно в соответствующей СЦМ.

${}^{12}\text{C}(n,\alpha){}^9\text{Be}$: Предполагается, что ${}^9\text{Be}$ образуется в основном состоянии и угловое распределение α -частиц изотропно в СЦМ.

${}^{12}\text{C}(n,d){}^{11}\text{B}$: Данная реакция моделируется в тех же предположениях, что и предыдущая реакция ${}^{12}\text{C}(n,\alpha){}^9\text{Be}$.

${}^{12}\text{C}(n,p){}^{12}\text{B}$: Предполагается изотропное распределение протонов по углу в СЦМ. Распределение по энергии, согласно⁷, может быть представлено в следующем виде:

$$P(x)dx = c x^{1/2} (1-x)^2 dx,$$

где

$$c = \int_0^1 P(x) dx,$$

$$x = E / E_{\max};$$

E_{\max} - максимально возможная энергия протона.

Дополнительно, в случае вторичных протонов, учитывалась возможность вылета протона за пределы чувствительной области

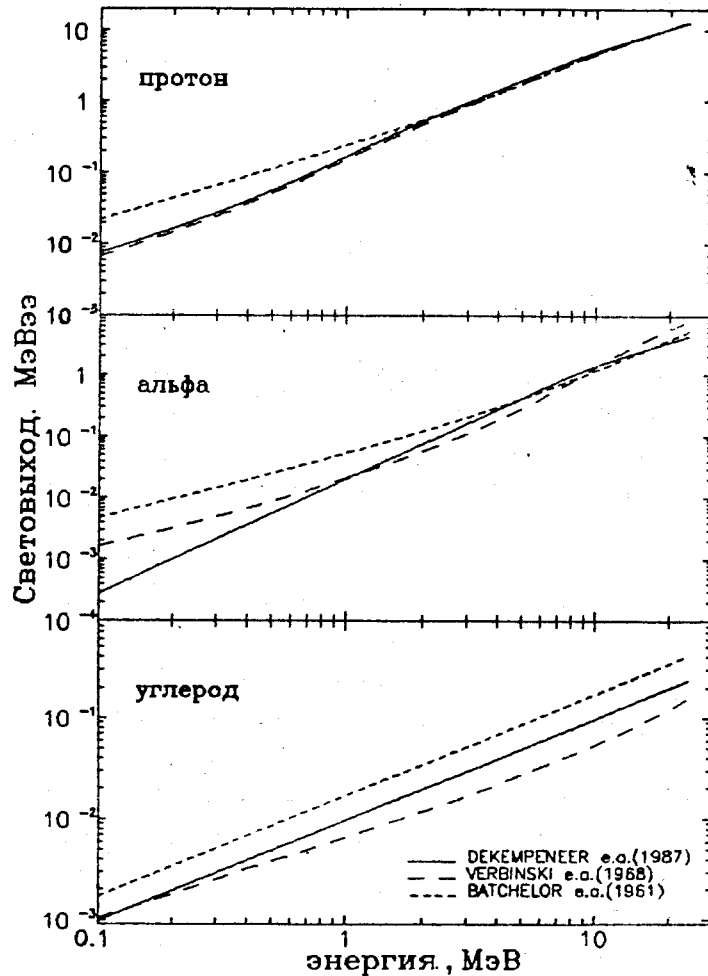


Рис.1. Световыход в сцинтилляторе NE-213 от протонов, α -частиц и ядер углерода по данным различных работ.

детектора до его полной остановки. Рассмотрение велось в предположении непрерывных потерь энергии. Для остальных заряженных частиц данная возможность не рассматривалась.

Световыход. на рис. I представлен световыход в сцинтилляторе NE-213 от протонов, α -частиц и ядер углерода, предлагаемый в различных работах^{1,4,9}. Как видно, имеет место определенное расхождение в данных. Для протонов и α -частиц большое расхождение наблюдается в области малых энергий.

ТЕСТИРОВАНИЕ

В соответствии с изложенной методикой, комплекс программ SITNA¹¹ был дополнен модулями расчета энергии протонов, α -частиц и ядер отдачи, образующихся в реакциях нейтрона с ядрами водорода и углерода. Используемые сечения нейтронных реакций представлены на рис. 2 а. Для тестирования были использованы данные работ^{4,8}. В обоих случаях в расчетах были использованы данные по световыходу и составу сцинтиллятора NE-213, приводимые авторами работ.

В работе⁴ рассматривался детектор цилиндрической формы длиной 4,60 см и диаметром 4,65 см. Состав сцинтиллятора NE-213 - плотность 0,867 г/см³, композиция $CN_{1,21}$. Моделировался случай облучения боковой поверхности детектора плоскопараллельным пучком нейтронов с энергиями в диапазоне от 0,2 до 20 МэВ. Результаты наших расчетов, эффективности детектора в зависимости от энергии нейтронов, и данные работы⁴ представлены на рис. 2 б. Статистическая точность наших расчетов менее 1%, совпадение с данными работы⁴ в пределах 2% во всем рассматриваемом диапазоне энергий. Исключение составляет интервал энергий 7-8 МэВ, где расхождение достигает величины порядка 5%. Поскольку нами рассматривалась полная эффективность детектора (нулевой порог регистрации), то по существу, результат определяется полными сечениями нейтронов на ядрах водорода и углерода. Как видно из рис. 2 а, в интервале энергий 7-8 МэВ в полном сечении

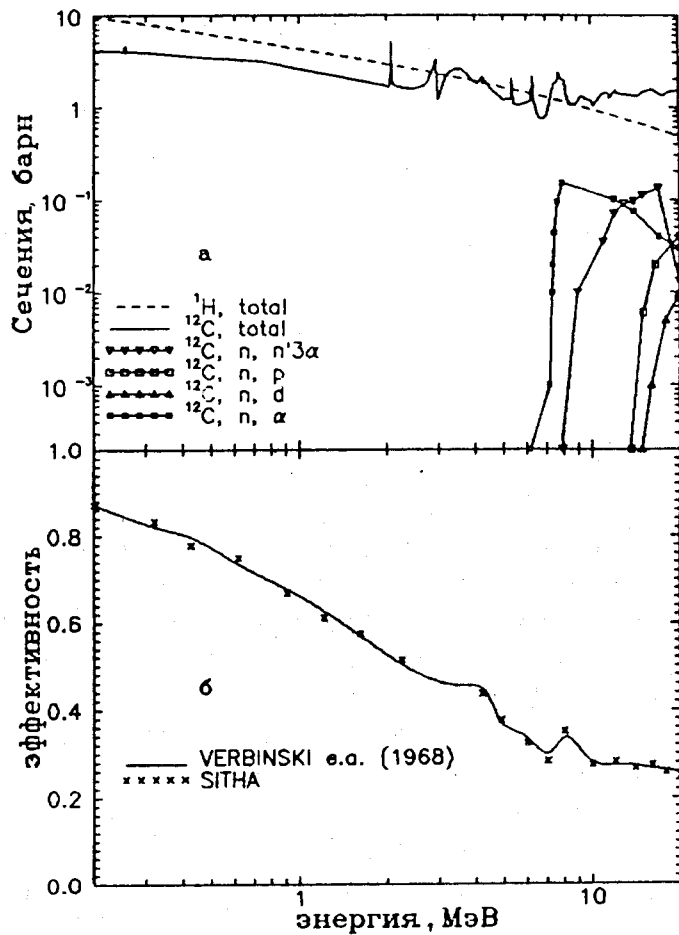


Рис.2.а - сечения нейтронных реакций на ядрах водорода и углерода, использованные в настоящей работе;
 б - эффективность регистрации нейтронов цилиндрическим детектором диаметром 4,65 см и длиной 4,60 см.

нейтронов на углероде имеется широкий резонанс, обусловленный открытием канала реакции (n, α) . Различное групповое представление нейтронного сечения, в данном интервале энергий, будет приводить к несколько отличающимся результатам. В нашем случае часть резонанса попадает в одну энергетическую группу. Кроме того, использованное в работе^{4/} значение полного сечения нейтронов на углероде 1,466 при энергии 8,029 МэВ, на наш взгляд, завышено.

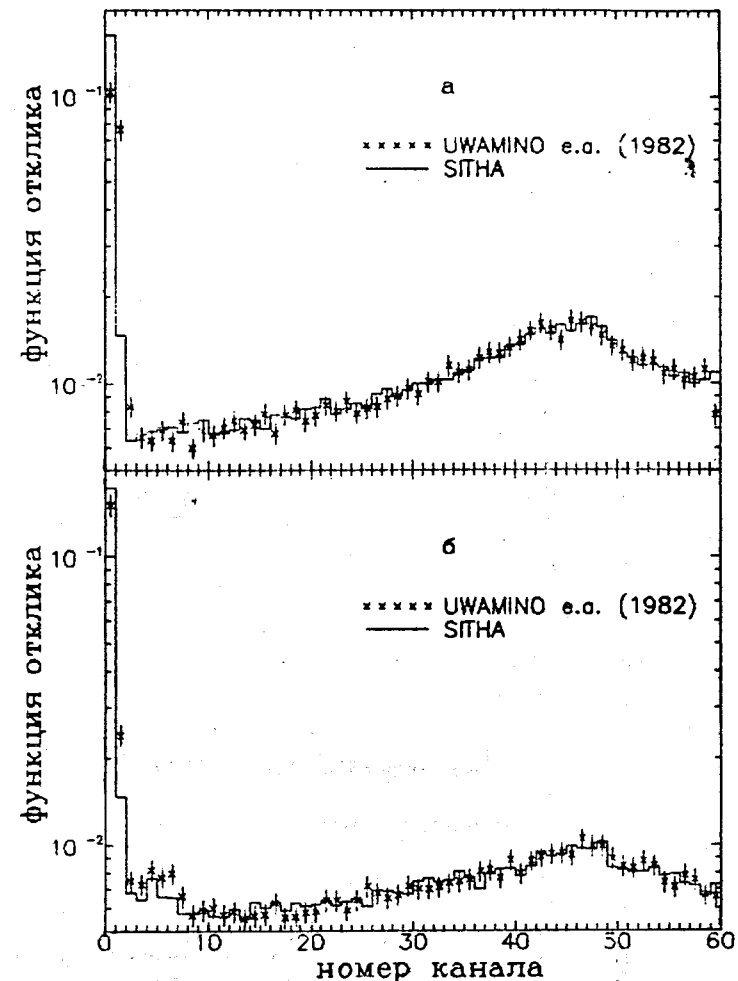


Рис.3. Функция отклика цилиндрического детектора нейтронов: диаметр 7,60 см, длина 7,60 см; а - энергия нейтронов 2,5 МэВ; б - 5,5 МэВ.

В работе^{8/} рассматривался детектор цилиндрической формы длиной 7,6 см и диаметром 7,6 см. Атомная плотность сцинтиллятора NE-213, задаваемая в расчетах: водород - $4,937 \cdot 10^{22}$ атом/см³ и углерод - $4,070 \cdot 10^{22}$ атом/см³. В работе^{8/} использовались оригинальные данные по световыходу от протонов, световыход от α -частиц и ядер углерода рассчитывался согласно работе^{5/}. Данные по световыходу от протонов фитировались полуэмпирической формулой Биркса^{2/}:

$$P(E_p) = \int_0^{E_p} dE / \left(1 + k \cdot V \frac{dE}{dx} \right),$$

где $P(E_p)$ - световойход для протонов с энергией E_p ; kV - константа, определяемая из фитирования экспериментальных данных; dE/dx - тормозная способность вещества для протонов. В работе⁸ было получено kV ; $0,0107 \text{ см} \cdot \text{МэВ}^{-1}$.

На рис.3 а,б и рис.4 а,б представлены результаты наших расчетов функции отклика детектора и данные работы⁸ для

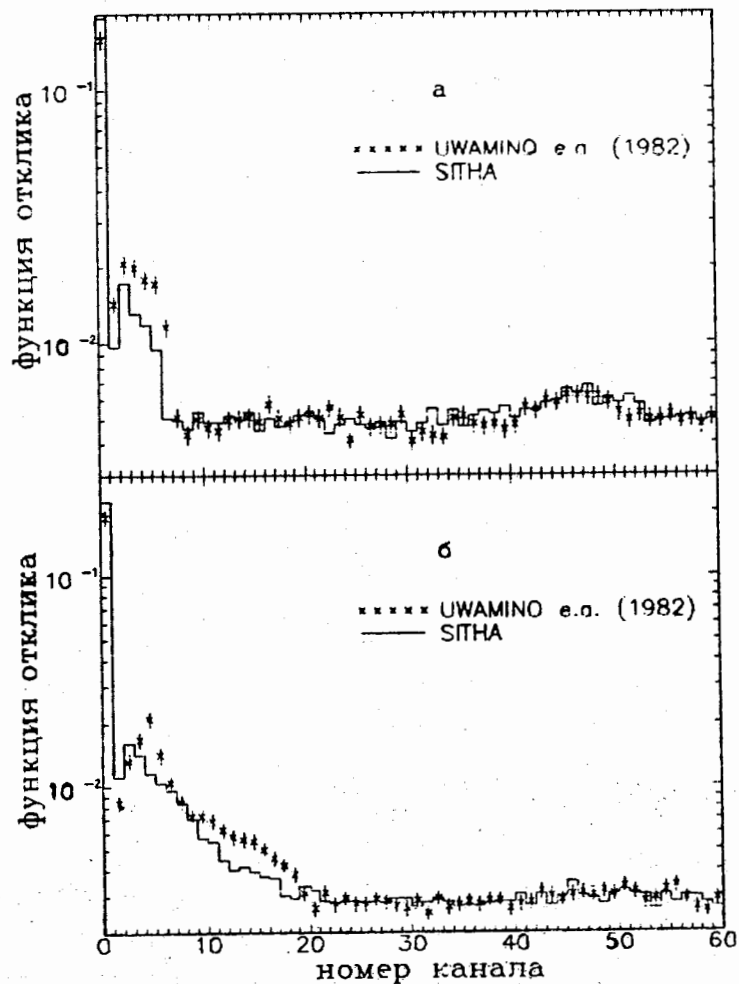


Рис.4. Функция отклика цилиндрического детектора нейтронов: диаметр 7,60 см, длина 7,60 см; а - энергия нейтронов 9,5 МэВ; б - 18,5 МэВ.

случая облучения торцевой поверхности детектора плоскопараллельным пучком нейтронов, параллельно оси детектора, с энергиями 2,5; 5,5; 9,5; 18,5 МэВ соответственно. Каждая функция отклика представлена для 60 равных интервалов энергии (энергии протонов отдачи) в диапазоне от нуля до энергии налетающего нейтрона.

В целом наблюдается хорошее согласие поведения функции отклика, представленной в работе⁸ и полученной в наших расчетах. Некоторое расхождение наблюдается только в области малой энергии световыходов для больших энергий налетающих нейтронов (рис.4 а,б). Последнее, видимо, связано с занижением данных о световыходах в сцинтилляторе от α -частиц и ядер углерода в работе⁴, использованных в наших расчетах, по сравнению с данными тех же авторов в работе⁵, использованных в оригинальной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модификация пакета программ SITNA позволила существенно расширить возможности пакета в направлении расчета эффективности и функций отклика сложных детектирующих систем нейтронов. Проведенное тестирование показало хорошее согласие получаемых результатов с данными других авторов. Существующие расхождения связаны с различными представлениями функции световыхода в сцинтилляторе от протонов, α -частиц и ядер углерода.

Авторы благодарны проф. Пенюшкевичу Ю.Э., проф. Рубчене В.А. и Дмитриеву В.Д. за постоянный интерес и поддержку работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Batchelor R. et al. - Nuclear Instruments and Methods, 1961, v.13, p.70.
2. Birks J.V. - The theory and practice of scintillation counting. N.Y. 1964.

3. Золотухин В.Г., Дорошенко Г.Г., Ефименко Б.А. - Атомная энергия, 1963, т.15, с.194.
4. Verbinski V.V. et al. - Nuclear Instruments and Methods, 1968, v.65, p.8.
5. Textor R.E. and Verbinski V.V. - Report ORNL-4160, 1968.
6. Cecil R.A. et al. - Nuclear Instruments and Methods, 1979, v.161, p.439.
7. Strong J.A. et al. - Nuclear Instruments and Methods, 1978, v.156, p.411.
8. Uwamino Y. et al.- Nuclear Instruments and Methods, 1982, v.204, p.179.
9. Dekempeneer E. - Nuclear Instruments and Methods, 1987, v.A256, p.489.
10. Deleo R. et al. - Nuclear Instruments and Methods, 1974, v.119, p.559.
11. Даниэль А.В., Перов В.Ю., Сокол Е.А. - Сообщение ОИЯИ РЗ-91-320, Дубна 1991.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 июля 1992 года.

Даниэль А.В., Козулин Э.М., Кузнецов А.В. P3-92-325
Расчет функции отклика
нейтронных детекторов на основе
жидких органических сцинтилляторов

Рассмотрены методы расчета функции отклика нейтронных детекторов на основе жидких органических сцинтилляторов, реализованные в качестве нового блока подпрограмм, включенного в комплекс программ SITHA. Обсуждаются результаты тестовых расчетов, по программе SITHA, эффективности и функции отклика нейтронных детекторов на основе сцинтиллятора NE-213.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод авторов

Daniel A.V., Kozulin E.M., Kuznetsov A.V. P3-92-325
Calculation of the Response Function of
the Neutron Detector Based
on Liquid Organic Scintillator

Calculation methods of the response function of the neutron detector based on a liquid organic scintillator are discussed. These methods have been realized as a new subroutine block included in the code SITHA. Results of the testing, calculations of the efficiency and of the response function made by code SITHA for neutron detectors based on scintillator NE-213 are discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992