

УДК 539.1.074.8

РАСЧЁТ ПРОСТОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗАМЕДЛИТЕЛЯ ДЛЯ ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ**А.Ю. Буки, С.А. Каленик***ННЦ "Харьковский физико-технический институт"**ул. Академическая 1, г. Харьков, Украина, 61108**E-mail: abuki@ukr.net*

Received 6 April 2012, revised 26 April 2012

Проведено математическое моделирование прохождения нейтронов через полиэтиленовый цилиндрический замедлитель детектора нейтронов. Рассчитывалось количество тепловых нейтронов, попавших в расположенную по оси замедлителя газоразрядную трубку счётчика тепловых нейтронов. Для разных диаметров замедлителя получены зависимости эффективности регистрации от энергии налетающих нейтронов. Найден диаметр замедлителя, при котором эффективность регистрации довольно высока (около 10%) и практически постоянна для нейтронов с энергией от тепловых до 1 МэВ. Отмечается, что детектор с такими характеристиками является оптимальным для регистрации запаздывающих нейтронов деления и может быть использован в установках активационного анализа на содержание делящихся материалов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: детектор нейтронов, счётчик нейтронов, нейтроны, нейтронные поля, математическое моделирование

CALCULATION OF A SIMPLE CYLINDRICAL MODERATOR FOR NEUTRON DETECTOR**A.Yu. Buki, S.A. Kalenik***NSC "Kharkov Institute of Physics and Technology"**1, Akademicheskaya st., Kharkov, Ukraine, 61108*

Mathematical modeling of the passage of neutrons through cylindrical polyethylene moderator of neutron detector had been performed. Had been calculated amount of thermal neutrons that fall in located on the axis of the moderator gas discharge tube counters of thermal neutrons. For different diameters of the moderator the energy depending of the detection efficiency of incident neutrons had been obtained. Found the diameter of the moderator, in which the detection efficiency is quite high (10%) and nearly constant for neutrons with energies from thermal to 1 MeV. It is noted that a detector with these characteristics is optimal for the registration of delayed fission neutrons and can be used in installations of activation analysis for the content of fissionable materials.

KEY WORDS: neutron detector, neutron counter, neutrons, neutron fields, simulation

РОЗРАХУНОК ПРОСТОГО ЦИЛИНДРИЧНОГО СПОВІЛЬНЮВАЧА ДЛЯ ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНІВ**О.Ю. Буки, С.О. Каленик***ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут"**вул. Академічна 1, м. Харків, Україна, 61108*

Проведено математичне моделювання проходження нейтронів через поліетиленовий циліндричний сповільнювач детектора нейтронів. Розраховувалася кількість теплових нейтронів, що потрапили в розташовану по осі сповільнювача газорозрядну трубку лічильника теплових нейтронів. Для різних діаметрів сповільнювача отримані залежності ефективності реєстрації від енергії налітаючих нейтронів. Знайдено діаметр сповільнювача, при якому ефективність реєстрації досить висока (близько 10%) і практично постійна для нейтронів з енергією від теплових до 1 МеВ. Відзначається, що детектор з такими характеристиками є оптимальним для реєстрації запізнених нейтронів ділення і може бути використаний в установках активационного аналізу на вміст матеріалів, що діляться.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: детектор нейтронів, лічильник нейтронів, нейтрони, нейтронні поля, математичне моделювання

В экспериментальной и прикладной нейтронной физике наиболее часто используются детекторы нейтронов, состоящие из полиэтиленового замедлителя и расположенного внутри счётчика тепловых нейтронов (СТН). Обычно замедлитель имеет форму цилиндра, по оси которого расположена газоразрядная трубка СТН (рис.1), в которой ионизация газа происходит в результате реакции $n+^{10}\text{B}\rightarrow^4\text{He}+^7\text{Li}+2,8\text{ MeV}$ или $n+^3\text{He}\rightarrow p+^3\text{H}+0,76\text{ MeV}$. Для того, что бы эффективность регистрации нейтронов в некотором диапазоне энергий была постоянной, и этот диапазон был как можно более широким, в объёме полиэтиленового цилиндра делают различные полости и в конструкцию вводят элементы из нейтронопоглощающего вещества (кадмия). Замедлитель такого детектора должен обеспечить замедление быстрых нейтронов до тепловых и в то же время малое поглощение медленных нейтронов таким образом, чтобы количество дошедших до СТН отеплённых быстрых и медленных нейтронов почти не зависело от их начальной энергии и в результате все они были зарегистрированы счётчиком. Классическим примером такой конструкции является всеволновой детектор Хансона-Маккибена [1].

Целью настоящей работы является исследование зависимости от величины внешнего радиуса замедлителя, характеристик простейшего детектора нейтронов, состоящего из полиэтиленового цилиндрического замедлителя и расположенной внутри него трубки газоразрядного счётчика нейтронов.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ ЗАМЕДЛИТЕЛЯ

Взаимодействие быстрых нейтронов с веществом почти полностью определяется процессом упругого рассеяния на атомных ядрах, в результате которого нейтроны замедляются. Многократное упругое рассеяние нейтронов понижает их энергии до тепловых (отепление нейтронов). В случае же медленных нейтронов существенным является взаимодействие, при котором нейтроны поглощаются ядрами. Поэтому с увеличением размеров замедлителя в результате упругого рассеяния на ядрах растёт количество отеплённых нейтронов, бывших вначале быстрыми, но в результате реакций поглощения уменьшается количество изначально медленных нейтронов. Кроме этих двух процессов происходит утечка нейтронов через внешнюю поверхность замедлителя. Вклад этой утечки в динамику нейтронов внутри замедлителя определяется величиной отношения площади внешней поверхности замедлителя к его массе, т.е. его формой и размерами, а так же длиной свободного пробега нейтрона у поверхности замедлителя, которая зависит от состава его вещества и энергии нейтронов.

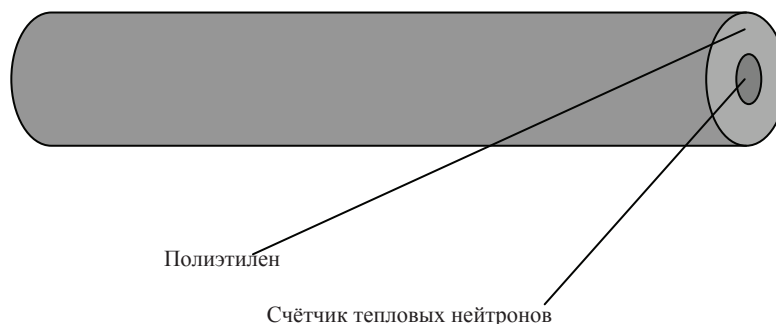


Рис.1. Цилиндрический детектор нейтронов.

РАСЧЁТЫ ТРАНСПОРТА НЕЙТРОНОВ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ЗАМЕДЛИТЕЛЕ

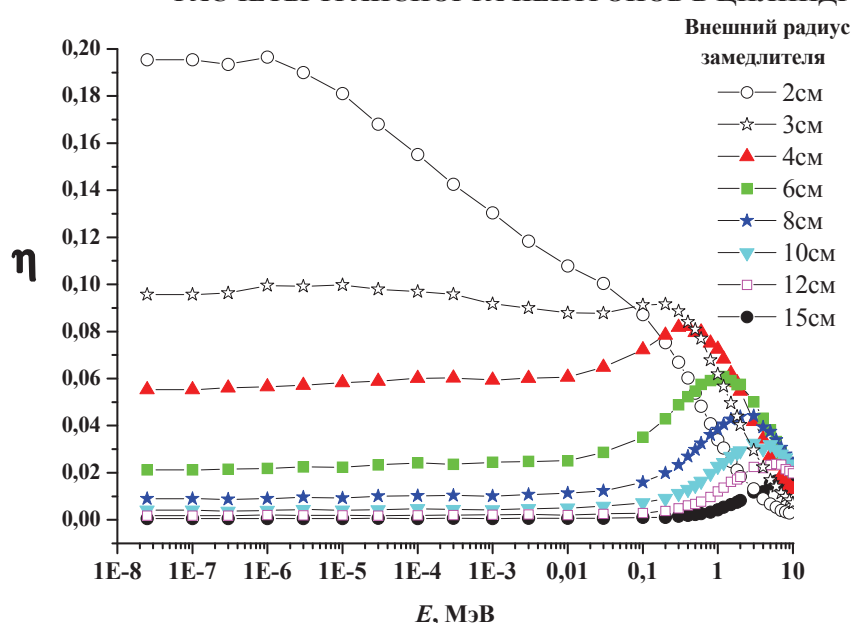


Рис.2. Зависимость эффективности регистрации нейтронов от их энергии для различных внешних радиусов замедлителя R.

Подобные задачи решаются методами численного моделирования, в которых с помощью розыгрыша по Монте Карло рассчитывается прохождение каждого нейтрона через вещество. В результате проведения таких расчётов для большого количества нейтронов можно получить статистически достоверные характеристики потока нейтронов в интересующей нас области пространства. Вычислительные программы такого типа были разработаны и протестированы нами для нейтронов с энергией до 10 MeV [2,3]. Используемые в этих программах нейтронные сечения взяты из базы данных ENDF [4], которую использует для своих расчетов и популярный пакет GEANT. С помощью

вышеуказанных программ проводились расчёты количества попавших на трубку СТН тепловых нейтронов¹. Отношение количества этих нейтронов к количеству нейтронов попавших на замедлитель (η') является эффективностью замедлителя. Современные СТН регистрируют около (80 ÷ 100)% попавших на них тепловых нейтронов и поэтому прием эффективность детектора $\eta = 0,8\eta'$. На рис.2 показаны зависимости величины η от энергии первичных нейтронов для цилиндрических полиэтиленовых замедлителей с внешними радиусами R от 2 до 15 см. Видно, что в рассматриваемом диапазоне энергий эффективность регистрации нейтронов

^{1/} Применение этих программ, связано с тем, что с их помощью вычисления настоящей работы требовали значительно меньше времени, чем при использовании пакета GEANT4.

изменяется в широких пределах. Однако, в более узком диапазоне энергий эта зависимость довольно слаба для случаев $R = 3$ см и 4 см. Расчёты $\eta(E)$ для значений R от 3 см до 4 см показали, что при $R = 3,4$ см в диапазоне энергий нейтронов от 10^{-8} МэВ до 1 МэВ имеют место наименьшие вариации эффективности – $\delta\eta = \pm 10\%$, при этом среднее значение эффективности η около 0,08 (рис.3).

Все вышеприведенные расчёты выполнены для нейтронов, падающих на детектор перпендикулярно к его оси (угол падения $\theta = 0^\circ$). Для практических задач интересен случай прихода на детектор нейтронов под разными углами и, в частности, от источника, излучающего на детектор нейтроны в некотором диапазоне углов. Расчёт для усреднённого в диапазоне $\theta = \pm 45^\circ$ изотропного излучения приходящего на детектор, показан на рис.3. В этом случае, по сравнению с $\theta = 0^\circ$, величина $\delta\eta$ почти не изменилась, а η уменьшилась на 6%.

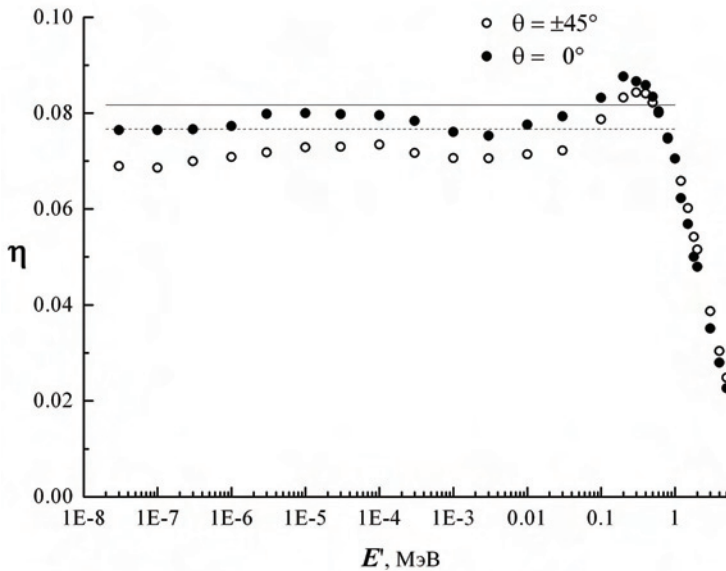


Рис.3. То же, что на рис.2, для $R = 3,4$ см.. Сплошная прямая соответствует среднему между минимумом и максимумом значений η при $E < 1$ МэВ и угле падения нейтронов на детектор $\theta = 0^\circ$, штриховая – такие же значения η , но для изотропного излучения усреднённого по θ от -45° до $+45^\circ$.

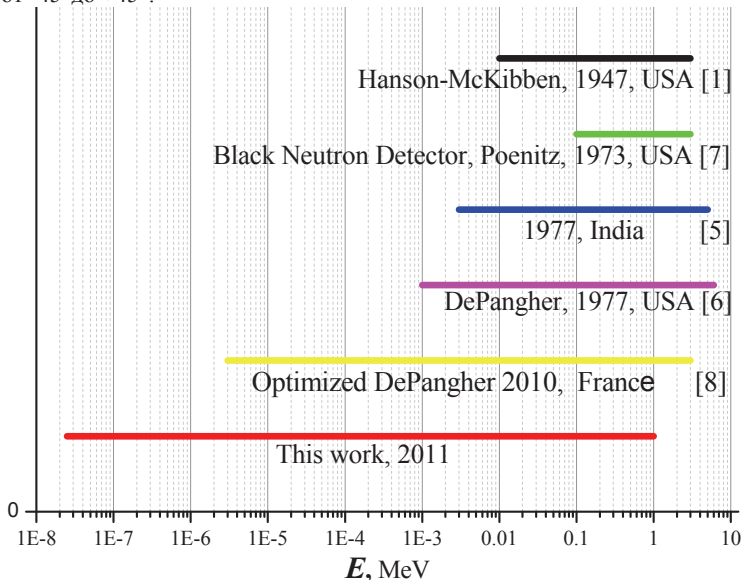


Рис.4. Рабочий диапазон энергий различных детекторов нейтронов.

Отсюда видно, что и по рабочему диапазону энергий, и по простоте конструкции и дешевизне рассматриваемый детектор наилучшим образом подходит для задачи активационного анализа.

ВЫВОДЫ

1. Расчёты полиэтиленового цилиндрического замедлителя детектора нейтронов показали
 - а) получено оптимальное значение внешнего радиуса замедлителя;

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравним результаты нашего расчёта с характеристиками других существующих детекторов нейтронов представленных в работах [1,5,6,7,8]. В рабочем диапазоне энергий у всех этих детекторов вариации эффективности около 10%, то есть, как и в нашем случае, а значения самой эффективности 0,1 и меньше. Что же касается их рабочих диапазонов энергий, то они различны – рис.4. Как видно из этого рисунка наш расчёт уступает другим, конструктивно более сложным, детекторам только по значению максимальной энергии рабочего диапазона. Из рис.2 видно, что в случае $R = 3 \div 4$ см. именно ограничение рабочего диапазона $\max(E) \approx 1$ МэВ приводит к хорошим значениям величины $\delta\eta$ вплоть до $E = 10^{-8}$ МэВ. В связи с этим отметим, что, как показывает рис.3, при ограничении $\max(E) = 0,8 \cdot 10^{-1}$ МэВ достигается величина разброса $\delta\eta = \pm 3\%$.

Вероятно существует не одна задача, где возможно применение рассматриваемого детектора нейтронов. Однако одна весьма важная задача для такого детектора очевидна. Это регистрация запаздывающих нейтронов деления в гамма- и нейтрон-активационном анализе на содержание в объекте делящихся материалов. Дело в том, что средняя энергия запаздывающих нейтронов деления $E_n < 0,5$ МэВ, а когда эти нейтроны по пути к детектору проходят через вещество матрицы, то, если она велика, их энергия уменьшается и иногда на несколько порядков. Кроме этого, в случае объёмных объектов (в промышленной установке) чувствительность и точность анализа зависит от количества нейтронных детекторов расположенных вокруг

- б) этому радиусу соответствует рабочий диапазон энергий детектора нейтронов от 10^{-8} МэВ до 1 МэВ со средней эффективностью $\eta \geq 0,08$ и вариациями эффективности до $\delta\eta = \pm 10\%$.
2. Детектор нейтронов с вышеуказанными параметрами наилучшим образом подходит для решения задач активационного анализа на содержание в объекте делящихся материалов.
 3. Ввиду практической ценности результатов расчёта планируется экспериментальная проверка полученных данных и калибровка счётчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hanson A.O., McKibben J.L. Neutron Detector Having Uniform Sensitivity from 10 Kev to 3 Mev // Phys. Rev. – 1947. - Vol.72. - P.673–677.
2. Buki A.Yu., Kalenik S.A., Shapoval I.M. Simplified transportation model of thermal neutrons through the matter // VANT. – 2011. - №3(55). - P.50-53.
3. Buki A.Yu., Kalenik S.A. A simple model of neutron transport and its application for the calculation of the response functions for the ball neutron spectrometer // The Journal of Kharkiv National University physical series: Nuclei, Particles, Fields. – 2012. - №991. – Iss. 1(53). P.23-27.
4. <http://www.nndc.bnl.gov>
5. Kamboj B.K., Shahani M.G., Phadnis U.V. Establishment of a precision long counter as a secondary standard for fast neutron flux density measurement // Bhabha Atomic Research Centre, Bombay (India), Report, 1977, 5p.
6. Slaughter D.R., Rueppel D.W. Calibration of a dePangher long counter from 2 keV to 19 MeV // Nuclear Instruments and Methods. – 1977. - Vol.145(2). - P.315-320.
7. Poenitz W.P. The black neutron detector // Nuclear Instruments and Methods. – 1977. - Vol.109. - P.413-420.
8. Lacoste V. Design of a new long counter for the determination of the neutron fluence reference values at the IRSN AMANDE facility // Radiation Measurements. – 2010. - Vol.45(10). - P.1250-1253.