

СПЕКТРЫ НЕЙТРОНОВ УТЕЧКИ ИЗ Pb-Li-СФЕРЫ С ^{252}Cf - И 14 МэВ-ИСТОЧНИКАМИ НЕЙТРОНОВ В ЦЕНТРЕ И ТЕСТИРОВКА ОЦЕНЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ДАННЫХ

А.И. Блохин, Б.В. Журавлев, В.А. Талалаев, И.В. Сипачев

*ГНЦ РФ Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского
249033, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, пл. Бондаренко, 1*



Спектр нейтронов утечки из $\text{Pb}_{83}\text{Li}_{17}$ -сферы с ^{252}Cf -источником нейтронов в центре измерен методом времени пролета в диапазоне энергии нейтронов от 200 кэВ до 10 МэВ. Внешний радиус сферы составлял 200 мм, внутренний – 60 мм. Измерения выполнены с использованием специально спроектированной быстрой ионизационной камеры, обеспечивающей одновременно стоповые импульсы для времяпролетной техники и фиксирование полного количества распадов ^{252}Cf за время эксперимента. Нейтроны утечки с внешней поверхности сферы регистрировались сцинтилляционным детектором на основе кристалла паратерфенила (диаметр 5 см, высота 5 см) и фотоумножителя ФЭУ-143. Ранее измерения спектра нейтронов утечки из этой сферы производились с 14 МэВ-источником нейтронов с использованием той же техники спектрометрии [1]. Выполнено сравнение результатов обоих измерений с расчетами по программе Монте-Карло MCNP-4B с библиотеками нейтронных данных ENDF/B-VII.1 и БРОНД-3.

Ключевые слова: спектр нейтронов, метод времени пролета, ионизационная камера с ^{252}Cf -источником нейтронов, сцинтилляционный детектор нейтронов, тестировка оцененных нейтронных данных.

ВВЕДЕНИЕ

В важном классе проектов термоядерных реакторов планируется использовать литий для воспроизводства трития, а свинец – для размножения нейтронов. Кроме того, предполагается использовать свинец в качестве теплоносителя в новых проектах реактора деления на быстрых нейтронах с естественной безопасностью. В этой связи возрастают требования к существующим файлам оцененных ядерных данных для лития и свинца. Оцененные файлы данных должны проверяться в интегральных экспериментах по транспорту нейтронов. Среди различных экспериментов для тестировки ядерных данных одним из лучших является измерение спектра нейтронов утечки из однородного сферического образца с источником нейтронов в его центре методом времени пролета. По сравнению с другими геометриями сферическая симметрия существенно улучшает измерения, так как измерения только в одной позиции детектора по отношению к внешней поверхности сферы достаточны для измерения нейтронной утечки из всей сферы.

Цель работы заключается в измерении спектра нейтронов утечки из сферической

© А.И. Блохин, Б.В. Журавлев, В.А. Талалаев, И.В. Сипачев, 2015

сборки $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ толщиной 14 см с ^{252}Cf -источником нейтронов в центре и тестировке оцененных нейтронных данных по результатам этих измерений и выполненным ранее измерений с 14 МэВ-источником нейтронов [1].

ЭКСПЕРИМЕНТ

Измерения спектра нейтронов утечки с ^{252}Cf -источником нейтронов выполнены методом времени пролета. Схема эксперимента представлена на рис.1. Калифорниевая камера деления представляет собой цилиндр диаметром 35 мм, длиной 120 мм и толщиной стенки 0,35 мм, наполненный газовой смесью 90%Ar+10%CO₂. Внутри этого цилиндра смонтированы два дисковых электрода диаметром 20 мм и толщиной 0,2 мм на расстоянии 2 мм между ними. Калифорниевый слой нанесен на один электрод и покрыт тонкой золотой пленкой. Активное пятно диаметром 10 мм испускало около 10^6 нейтронов в секунду. Импульсы с камеры с дискриминацией низкоамплитудных импульсов от α -частиц обеспечивали стоповые сигналы для времяпролетных измерений и счет осколков деления для мониторинга во время эксперимента. Камера располагалась в сфере так, чтобы центр ^{252}Cf -слоя совпадал с геометрическим центром сферы.

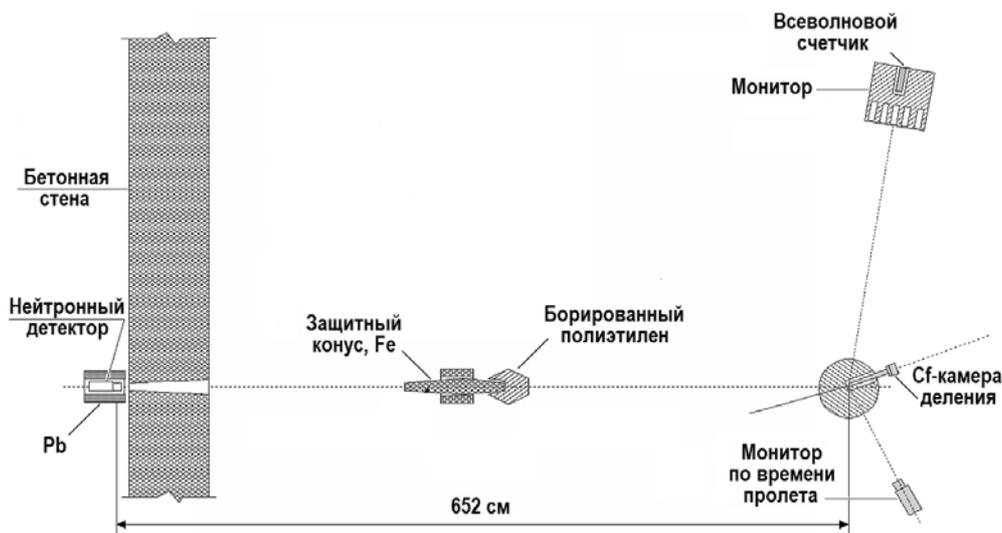


Рис. 1. Геометрия экспериментальной установки для измерения спектров утечки нейтронов из сферических образцов

Сфера сделана из сплава свинца с литием (атомарное отношение Pb/Li составляет 83/17), имеет внешний и внутренний диаметры 400 и 120 мм соответственно, а также цилиндрическое отверстие диаметром 50 мм для установки ^{252}Cf -ионизационной камеры.

Нейтроны утечки с внешней поверхности сферического образца детектировались сцинтилляционным детектором на основе кристалла паратерфенила (диаметром 5 см, высотой 5 см) и фотоумножителя ФЭУ-143. Детектор располагался на 6,5 м-пролетной базе от центра сферы в свинцовом домике за бетонной стеной толщиной 1 м. Эффективность детектора определялась измерением спектра нейтронов деления ^{252}Cf методом времени пролета в такой же геометрии эксперимента.

Электронная аппаратура спектрометра построена по магистрально-модульному принципу, и по своей структуре представляет автоматизированную информационно-измерительную систему. Детали электронной схемы приводятся в работе [2]. Параметры электронных блоков подбирались так, чтобы получить лучшее временное разрешение, низкий нейтронный порог и достаточное подавление фона γ -квантов. Временное разрешение спектрометра составляло ~ 3 нс, нейтронный порог ~ 70 кэВ и коэффициент подавления γ -квантов ~ 10 . Для контроля стабильности спектрометра ис-

пользовался времяпролетный монитор с детектором на основе быстрого пластического сцинтиллятора (цилиндр диаметром 2 см и длиной 2 см) и фотоумножителя ФЭУ-87.

Для измерения фонового спектра нейтронов железный конус длиной 1 м с дополнительным цилиндром из борированного полиэтилена длиной 30 см устанавливался между сферой и детектором.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Процедура измерения спектра нейтронов утечки состояла в многократных измерениях с теневым конусом и без него для усреднения возможных флуктуаций спектрометра. Окончательное времяпролетное распределение нейтронов утечки получено после тщательного отбора измеренных спектров и нормировки их на одинаковое число делений. Времяпролетный спектр преобразовывался затем в энергетический спектр и интегрировался в 4π стерадиан. Нормировка на один нейтрон источника определена по счету осколков деления в ^{252}Cf -ионизационной камере. Измеренные спектры нейтронов утечки были поправлены на искажения, связанные с рассеянием нейтронов на конструкционных материалах ^{252}Cf -камеры и с преобразованием времяпролетного спектра в энергетический спектр [3]. Поправки на эти эффекты были рассчитаны с помощью программы MCNP-4B [4].

Полная погрешность измеренных спектров нейтронов утечки оценивалась с учетом следующих компонентов:

- статистическая погрешность определена в 2 – 15% в интервале энергии нейтронов 0,2 – 10 МэВ;
- погрешность, связанная с нестабильностью спектрометра нейтронов, ~ 3%;
- погрешность эффективности детектора нейтронов ~ 3%;
- погрешность определения потока нейтронов ~ 2%;
- погрешности расчета поправок, связанных с рассеянием нейтронов на конструкции ^{252}Cf -камеры ~ 1% и с временной задержкой нейтронов в сферическом образце ~ 2%.

Полная погрешность в измеренном спектре изменялась от 5 до 15% в диапазоне энергии нейтронов 0,2 – 10 МэВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И СРАВНЕНИЕ С РАСЧЕТАМИ

Расчеты спектров нейтронов утечки выполнены по методу Монте-Карло с использованием программы MCNP-4B [4] и библиотек оцененных нейтронных данных ENDF/B-VII.1 и БРОНД-3. Конструкционные особенности сферы были учтены в расчетах. Транспортные константы для расчетов были подготовлены с использованием системы NJOY [5].

Измеренный и рассчитанный спектры нейтронов утечки из свинцово-литиевой сферы с ^{252}Cf -источником нейтронов представлены на рис. 2. Аналогичные данные с 14 МэВ-источником нейтронов представлены на рис. 3.

Анализ измеренных и рассчитанных спектров нейтронов утечки из свинцово-литиевой сферы с калифорниевым источником нейтронов показывает, что расчеты с ENDF/B-VII.1- и БРОНД-3-файлами оцененных данных находятся в неудовлетворительном согласии с измеренным результатом во всем диапазоне энергии нейтронов. В области энергий нейтронов выше 2 МэВ расчетные данные, как правило, превышают измерения до 20%, в области ниже 2 МэВ – существенно ниже измеренных.

Аналогичная ситуация наблюдается при сравнении расчетных и измеренных спектров нейтронов утечки с 14 МэВ-источником нейтронов. Если в области энергий нейтронов выше 2 МэВ наблюдается удовлетворительное согласие измеренных и расчетных данных, то в области энергий 1-2 МэВ расхождение достигает 20 – 25%, что требует дополнительного анализа в области оценки ядерных данных для изотопов свинца и лития и, возможно, проведения интегральных экспериментов по транспорту нейтронов.

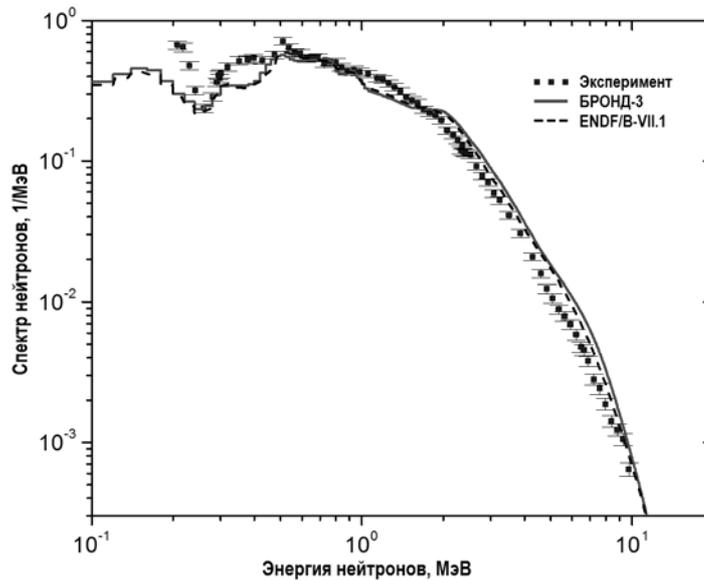


Рис. 2. Спектры нейтронов утечки из свинцово-литиевой сферы с калифорниевым источником нейтронов

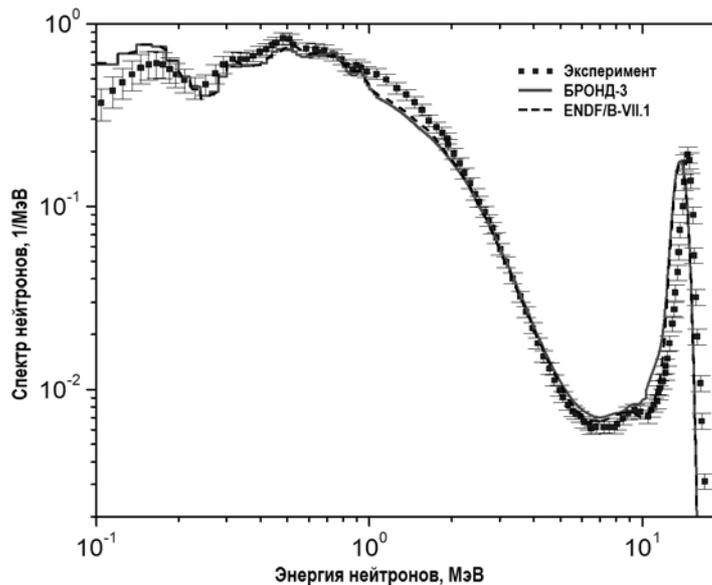


Рис. 3. Спектры нейтронов утечки из свинцово-литиевой сферы с 14 МэВ-источником нейтронов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты сравнения измеренных и рассчитанных спектров нейтронов утечки с поверхности свинцово-литиевой сферы указывают на необходимость уточнения оцененных нейтронных данных в библиотеках ENDF/B-VII.1 и БРОНД-3 для изотопов свинца и лития и, возможно, дополнительных интегральных экспериментов по транспорту нейтронов.

Литература

1. Simakov S.P., Devkin B.V., Kobozev M.G., Talalaev V.A. FENDL NEUTRONICS BENCHMARK: Neutron leakage spectra from Be, Fe, Pb, PbLi shells with 14 MeV neutron source // Report

IAEA INDC(NDS)-313 (1994). PP. 1-16.

2. Zhuravlev B.V., Blokhin A.I., Kobozev M.G., Talalaev V.A. Measurements of leakage neutron spectra from thick spherical shells of vanadium and lead with 14 MeV neutrons and validation of their nuclear data. Proceedings of the XI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (ISINN-XI, Dubna, May 28-31, 2003), Dubna, JINR, 2004. PP.188-195.

3. Devkin B.V., Fischer U., Kappler F., Kobozev M.G., Mollendorff U. and Simakov S.P. Evaluation of corrections for spherical-shell neutron transmission experiments by the Monte-Carlo technique. / ВАЯТ. сер. Ядерные константы, вып. 1-2 (1997). С. 38-44.

4. Briesmeister J.F. (Ed.). MCNP-4 General Monte-Carlo N-Particle Transport Code. Version 4B, Report LA-12625-M (1997).

5. MacFarlane R.E., Muir D.W. The NJOY Nuclear Data Processing System, Version 94.66, LANL (USA) (1996).

Поступила в редакцию 24.06.2014 г.

Авторы

Блохин Анатолий Иванович, начальник отдела, канд. физ.-мат. наук

E-mail: blokhin@obninsk.ru

Журавлев Борис Васильевич, главный научный сотрудник, доктор физ.-мат. наук

E-mail: zhurav@ippe.ru

Талалаев Владимир Алексеевич, инженер

Сипачев Иван Васильевич, научный сотрудник

UDC 621.039

NEUTRON LEAKAGE SPECTRA FROM Pb-Li SPHERE WITH CENTRAL ^{252}Cf - AND 14 MeV-NEUTRON SOURCES AND VERIFICATION OF EVALUATED NEUTRON DATA

Blokhin A.I., Zhuravlev B.V., Talalaev V.A., Sipachev I.V.

State Scientific Center of the Russian Federation – Institute for Physics and Power Engineering.

1, Bondarenko sq., Obninsk, Kaluga reg., 249033 Russia

ABSTRACT

The leakage neutron spectra from $\text{Pb}_{83}\text{Li}_{17}$ sphere with ^{252}Cf neutron source at its center have been measured by the time-of-flight method from 200 keV up to 10 MeV. Outer radius of sphere was 200 mm, inner – 60 mm. The measurements was performed with use of a specially designed fast ionization chamber, supplied the stop pulses for the time-of-flight technique as well as total number of ^{252}Cf disintegrations during the experiment. The neutrons leaking from the outer surface of a sphere were detected with a scintillation counter composed of a paraterphenyl crystal of 5 cm in diameter and 5 cm long and FEU-143 photomultiplier tube. Before the measurements of leakage neutron spectrum from the same Pb-Li sphere were performed with 14 MeV neutron source using the same time-of-flight facility [1]. The measured data were compared with the MCNP-4 Monte-Carlo code calculations with nuclear data processed from the ENDF/B-VII.1 and BROND-3 libraries.

Key words: neutron spectrum, time-of-flight method, ionization chamber with ^{252}Cf neutron source, scintillation detector of neutrons, verification of evaluated neutron data.

REFERENCES

1. Simakov S.P., Devkin B.V., M.G. Kobozev, V.A. Talalaev. FENDL NEUTRONICS BENCHMARK: Neutron leakage spectra from Be, Fe, Pb, PbLi shells with 14 MeV neutron source. Report IAEA INDC(NDS)-313 (1994), pp.1-16.

2. Zhuravlev B.V., Blokhin A.I., Kobozev M.G., Talalaev V.A. Measurements of leakage neutron

spectra from thick spherical shells of vanadium and lead with 14 MeV neutrons and validation of their nuclear data. Proceedings of the XI International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (ISINN-XI, Dubna, May 28-31, 2003), Dubna, JINR, 2004, pp. 188-195.

3. Devkin B.V., Fischer U., Kappler F., Kobozev M.G., von Mollendorff U., Simakov S.P. Evaluation of corrections for spherical-shell neutron transmission experiments by the Monte-Carlo technique. *VANT, ser. Nuclear constants*, iss. 1-2. 1997, pp. 38-44.

4. Briesmeister J.F. (Ed.). MCNP-4 General Monte-Carlo N-Particle Transport Code. Version 4B, Report LA-12625-M (1997).

5. MacFarlane R.E., Muir D.W. The NJOY Nuclear Data Processing System, Version 94.66, LANL (USA) (1996).

Authors

Blokhin Anatoly Ivanovich, Head of Division, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: blokhin@obninsk.ru

Zhuravlev Boris Vasil'evich, Leader Scientist, Dr. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: zhurav@ippe.ru

Talalaev Vladimir Alekseevich, Engineer

Sipachyov Ivan Vasil'evich, Research Scientist