

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ ПРИЗМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОТОНЕЙТРОННЫХ ИСТОЧНИКОВ НА БАЗЕ ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ

К. С. Волосенко, О. В. Зацепин, И. В. Пензин, С. И. Самарин, В. М. Шмаков

ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

В РФЯЦ – ВНИИТФ для решения задач переноса ионизирующего излучения методом Монте-Карло разработана и развивается программа ПРИЗМА [1,2]

Программа позволяет решать линейные нестационарные неоднородные уравнения переноса нейтронов, фотонов, электронов, позитронов и ионов, а также системы таких уравнений, описывающих совместный перенос нескольких типов частиц в трехмерной постановке. Процесс распространения излучения от заданного источника, в общем случае, нестационарного, рассматривается в среде, характеристики которой неизменны в течение всего процесса.

Для повышения эффективности расчетов широко используются методы неаналогового моделирования, разработанные в программе [3, 4] для решения неоднородного уравнения переноса, радиационной защиты, характеристик нейтронного и гамма-излучений в детекторах, расположенных внутри и вне активной зоны реактора, и для других применений.

В РФЯЦ – ВНИИТФ создана собственная система константного обеспечения расчетов переноса различного типа частиц методом Монте-Карло [5]. В программе ПРИЗМА используется библиотека ПРОМ [6]. В файлах этой библиотеки содержатся нейтронные константы с данными о гамма-образовании, фотоатомные константы с данными об образовании электронов и позитронов, фотоядерные константы с данными об образовании нейтронов и заряженных частиц, а также константы взаимодействия заряженных частиц с веществом. Первоисточниками этих данных являются как международные библиотеки ядерных данных, так и библиотеки отечественной разработки.

Программа ПРИЗМА предоставляет пользователю широкие возможности по заданию геометрии системы [7], описанию источников [8], позволяет рассчитывать множество нейтронно-физических характеристик, таких как: эффективный коэффициент размножения нейтронов, среднее время жизни нейтрона от деления до деления, среднее число частиц, рожденных при делении, количество реакций для отдельных нуклидов, флюенс, спектры полей нейтронов и гамма-квантов и ряд других.

Оценку линейных функционалов от решения уравнения переноса можно проводить на любых геометрических поверхностях системы и внутри ее областей. Любые функционалы могут быть дифференциальными по пространству, времени, направлению полета частиц и энергии.

Одним из направлений применения программы являются расчетно-экспериментальные исследования при создании фотонейтронных источников на базе линейных ускорителей. В качестве теста для отработки технологии счета и апробации фотонных констант с фотоядерными данными, был использован эксперимент [9] на установке LINAC со свинцовыми мишенями. Получено удовлетворительное согласие с экспериментом и результатами расчетов по программе MCNPX [10].

С целью нахождения оптимальных параметров конверсионных мишеней и предварительного определения нейтронного выхода и спектра для выбора подходящих экспериментальных измерительных методик по программе ПРИЗМА были проведены расчеты регистрации фотонейтронного излучения для рентгенографических установок БИМ234.3000М и ЛИУ-20 [11, 12]. Рассчитывались варианты постановок с комбинированной мишенью, состоящей из двух материалов. Поток нейтронов моделировался в одном расчете: пучок электронов, проходя через танталовую мишень, образовывал поток фотонов, который, в свою очередь, проходя через фотонейтронную мишень, образовывал поток нейтронов.

В ходе проведенных расчетов подобраны параметры неаналогового моделирования для повышения эффективности счета. Было исследовано влияние конфигурации конверсионных мишеней и внешнего окружения установки на интенсивность и мощность выхода нейтронов. На основе полученных расчетных данных обоснована концепция мощного генератора комплексного гамма-нейтронного излучения с возможностью изменения интенсивности гамма и нейтронной составляющей в импульсе для исследований в области радиационной стойкости.

Литература

1. **Kandiev, Y. Z.** PRIZMA Status [Text] / Y. Z. Kandiev, K. E. Khatuntsev, O. V. Zatsepin et al. // Annals of Nuclear Energy. – 2015. – Vol. 82. – P. 116–120.
 2. **Kandiev, Ya. Z.** PRIZMA Status [Text] / Ya. Z. Kandiev, G. N. Malyshkin, O. V. Zatsepin et. al. // Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications and Monte Carlo, 27–31 October 2013, Paris, France. [CD-ROM]
 3. **Зацепин, О. В.** Методика моделирования по ценности для решения по программе «ПРИЗМА» задач глубокого прохождения и детектирования реакторной физики [Текст] / О. В. Зацепин, Я. З. Кандиев // Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Математическое моделирование физических процессов». – 2015. – Вып. 1. – С. 30–36.
 4. **Kandiev, Ya. Z.** Modeling by Value Implemented in PRIZMA Code [Text] / Ya. Z. Kandiev, G. N. Malyshkin // V Joint Russian-American Computational Mathematics Conference, Sandia Report, SAN98-1591, 149 (1998).
 5. **Shmakov, V. M.** Use ENDF-Format Libraries for Criticality Calculations at VNIITF [Text] / V. M. Shmakov, V. D. Lyutov, E. I. Cherepanova et al. // Proc. the Sixth International Conference on Nuclear Criticality Safety ICNC'99, Versailles, France (CD-ROM), P1_24, Sept 20–24, 1999.
 6. **Кандиев, Я. З.** Библиотеки системы константного обеспечения расчетов КОБРА. Использование библиотек ENDL, ENDF [Текст] / Я. З. Кандиев, Э. С. Куропатенко, В. М. Шмаков, Е. И. Черепанова // Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Методики и программы численного решения задач математической физики». – 1986. – № 1.
 7. **Адеев, А. В.** О геометрическом обеспечении расчетов Монте-Карло в РФЯЦ – ВНИИТФ [Текст] : препринт № 160 / А. В. Адеев, А. В. Адеева, Н. П. Павлова. – Снежинск : Изд-во РФЯЦ – ВНИИТФ, 1999.
 8. **Кандиев, Я. З.** Описание источников излучений при решении задач переноса методом Монте-Карло в РФЯЦ – ВНИИТФ [Текст] : препринт № 176 / Я. З. Кандиев, Е. А. Кашаева, Г. Н. Малышкин. – Снежинск : Изд-во РФЯЦ – ВНИИТФ, 2001.
 9. **Sadineni, S. B.** Benchmarking photoneutron production of Mcnpx simulations with experimental results [Text] // UNLV Retrospective Theses & Dissertations. – 2002.
 10. **Walters, L. S.** MCNPX user's manual. Version 2.1.5.
 11. **Penzin, I. V.** Photoneutron Source Based on Linear Induction Accelerator [Text] / I. V. Penzin, D. V. Petrov, O. A. Nikitin et al. // SOCHI, IYNC2022.
 12. Инструменты статической и импульсной рентгенографии [Текст] : сб. научн. трудов ; под ред. О. А. Никитина и Р. В. Протаса. – Снежинск : Изд-во РФЯЦ – ВНИИТФ, 2023.
-