

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО В ДВУМЕРНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СИСТЕМЕ

А. В. Соколов, А. А. Пихуля, М. А. Полозкова

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

Использование программных комплексов, основанных на методе Монте-Карло, позволяет быстро и с хорошей точностью моделировать перенос частиц. Такие комплексы применяют для расчетов характеристик активных зон ядерных реакторов, защиты от ионизирующего излучения, медицинских и исследовательских установок, основанных на использовании источников излучения. Компьютерное моделирование позволяет значительно сократить расходы на разработку и испытание конструкций, подвергающихся воздействию ионизирующего излучения.

В России на протяжении многих лет создаются и совершенствуются программы, основанные на методе Монте-Карло: ПРИЗМА разработки РФЯЦ – ВНИИТФ [1], С-007 разработки РФЯЦ – ВНИИЭФ [2], MSU разработки НИЦ «Курчатовский институт» [3] и ряд других.

Научная и исследовательская работа студентов, обучающихся в вузах по соответствующим специальностям, должна быть ориентирована на изучение математических методов, алгоритмов и средств для создания компьютерных программ. Один из лучших способов обучения в процессе такой работы – это самостоятельное создание программы или программных модулей, расширяющих возможности существующего кода. В таком случае предпочтительно работать не с универсальными программами, которые имеют достаточно сложную архитектуру, а с небольшим проектом, реализующим упрощенную модель, и, в то же время, описывающим основные закономерности физического процесса.

Авторами под руководством наставников из РФЯЦ – ВНИИТФ была разработана и протестирована учебная программа, моделирующая перенос нейтронов методом Монте-Карло в двумерной осесимметричной постановке. В программе заложены элементы модульной структуры, что позволяет в дальнейшем расширять ее возможности: изменять тип геометрии или методы моделирования, добавлять новые типы рассматриваемых частиц.

Подобная программа может послужить основой для разработки учебного пособия для студентов, изучающих физику быстрых нейтронов, математические методы и программирование.

Программа имеет следующие возможности:

- использование системы спектральных констант (СК);
- моделирование взаимодействий нейтронов с веществом системы с учетом данных СК;
- наличие входного языка, с помощью которого возможно задание геометрии моделируемой системы и ее свойств;
- расчет распределения плотности потока нейтронов на прямоугольной сетке двумя способами: с применением оценки по столкновениям или оценки по пробегаем [4];
- счет числа пересечений границ областей и числа частиц, вылетевших из системы;
- оценка статистической погрешности результатов;
- параллельные вычисления с применением технологии OpenMP [5].

Использованные в расчетах ядерные данные представлены в виде модельной СК, созданной на основе системы спектральных констант ENDF/B-V [6]. В ней содержатся те ядерные данные, которые соответствуют используемым в расчетах приближениям. Структура данных в файлах модельных констант аналогична файлам СК, используемым в программе ПРИЗМА, которые описываются с помощью Д-Диаграмм [7]. Такой подход в организации данных позволит добавлять дополнительную информацию в файл. При этом блок моделирования взаимодействий не придется изменять радикальным образом, переписывая код под новый формат данных.

Оценка по столкновениям проста в реализации, однако, эффективность этой оценки сильно снижается при уменьшении размеров ячеек результирующей сетки. Оценка по пробегаем позволяет повышать эффективность расчетов в таком случае. Также для повышения эффективности расчетов в программе реализованы некоторые способы уменьшения дисперсии результатов с помощью неаналогового

моделирования, а именно использование статистического веса по выживанию, метод весовых окон, а также методы расщепления и русской рулетки [4]. Эти методы позволяют увеличить количество столкновений в ценных для конечного результата состояниях, при этом сохраняя математическое ожидание полученного результата.

Для ускорения расчетов при использовании многоядерных процессоров в программе реализовано распараллеливание с применением технологии OpenMP операций моделирования переноса частиц.

При тестировании программы был рассмотрен ряд задач. Среди них задачи, имеющие аналитическое решение – шар из поглощающего вещества с точечным изотропным источником нейтронов в центре. Рассмотрены и размножающие системы с усложненной постановкой, которые рассчитывались по программе ПРИЗМА.

Литература

1. **Вахонина, Т. В.** Программа ПРИЗМА. Современное состояние [Текст] / Т. В. Вахонина, Н. А. Воронина, О. В. Зацепин, и др. // Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications and Monte Carlo. – Париж, 2013. – 9 с.
 2. **Житник, А. К.** Методика С-007 решения методом Монте-Карло связанных линейных уравнений переноса нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов [Текст] / А. К. Житник и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Математическое моделирование физических процессов». – 2011. – № 1. – С. 17–24.
 3. **Гуревич, М. И.** Расчет переноса нейтронов методом Монте-Карло по программе MCU [Текст] : учеб. пособие / М. И. Гуревич, Д. А. Шкаровский. – М. : НИЯУ МИФИ, 2012. – 156 с.
 4. **Панин, М. П.** Моделирование переноса излучения [Текст] : учеб. пособие. – М. : МИФИ, 2008.
 5. **Антонов, А. С.** Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP [Текст] : учеб. пособие. – М. : Изд-во МГУ, 2009.
 6. МАГАТЭ – IAEA Nuclear Data Centre [Эл. ресурс]. – <http://www-nds.iaea.org>.
 7. **Огибин, В. Н.** Д-диаграммы как наглядный способ описания данных [Текст] / В. Н. Огибин, В. М. Шмаков // Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Методики и программы численного решения задач математической физики». – 1989. – Вып. 1. – С. 3.
-