

Рис. 2.

На рисунках приведены результаты моделирования (рис. 1) типов границ тектонических плит (дивергентные границы (зоны растяжения) выделены красным цветом, конвергентные (зоны сжатия) — голубым, трансформные (зоны сдвига) — зеленым) и пространственного распределения (рис. 2) эпицентров сильных землетрясений (поверхностные события (глубина до 50 км) показаны коричневыми кругами, более глубокие (от 50 км до 100 км) — красными; отдельно отмечена десятка сильнейших модельных событий). Все модельные данные достаточно хорошо согласуются с реальными. Полученные результаты предполагается использовать как для изучения глобального и регионального сейсмического риска, так и для дальнейшего развития модели.

Моделирование прохождения частиц через вещество на многопроцессорных суперкомпьютерах



12 Моделирование прохождения частиц через вещество на многопроцессорных суперкомпьютерах

Во многих фундаментальных и прикладных областях важную роль играет математическое моделирование процессов взаимодействия излучения и потоков частиц с веществом. Основная задача теории прохождения частиц через вещество заключается в вычислении показаний детектора, помещенного в поле излучения. Авторами предложена модель утолщенных траекторий для описания движения электронов в веществе. Приведены результаты расчетов по этой модели.

Во многих фундаментальных и прикладных областях, таких, как защита ядерных реакторов, неразрушающий контроль материалов и конструкций, медицинская физика и т. д., важную роль играет математическое моделирование процессов взаимодействия излучения и потоков частиц с веществом. Это обусловлено широким использованием рентгеновских, лазерных приборов и устройств, ускорителей, электронных трубок, радионуклидных источников излучений для решения научных и производственных задач, требующих проведения расчетов полей излучения для источников и мишеней различных конфигураций и свойств. Развитие многопроцессорной вычислительной техники дает дополнительный импульс как реализации и совершенствованию хорошо известных методов и алгоритмов, так и созданию новых моделей и подходов к решению актуальных и сложных математических задач.

Одним из таких, хорошо известных, методов математического моделирования является метод Монте-Карло. Преимущество метода Монте-Карло перед альтернативными методами, основанными на численном решении кинетического уравнения, определяется удобством и приспособленностью этого метода к решению многомерных граничных задач в многокомпонентных средах. Эффективность применения метода Монте-Карло определяется, во-первых, возможностью эффективного распараллеливания вычислений на современных многопроцессорных суперкомпьютерах и, во-вторых, развитием способов уменьшения статистической погрешности результатов. К недостаткам метода Монте-Карло относится в первую очередь медленная сходимость результатов статистических испытаний. Поэтому до появления многопроцессорных суперкомпьютеров расчеты с помощью этого метода использовались в основном для грубых оценок. Бурный рост вычислительных мощностей современных компьютерных систем стимулировал развитие алгоритмов, основанных на методе Монте-Карло, для решения сложных задач из различных областей науки и техники.

Важно, впрочем, отметить, что статистические методы моделирования переноса излучения не являются заменой сеточным методам решения кинетических уравнений. Обе эти группы алгоритмов взаимно дополняют и обогащают друг друга, позволяя, в частности, проводить адекватный анализ результатов моделирования.

Основная задача теории прохождения частиц через вещество заключается в вычислении показаний детектора, помещенного в поле излучения. Эти показания выражаются через функционалы от плотности потока частиц.

При решении задач распространения частиц в веществе методом Монте-Карло строятся случайные траектории частиц, и определяется вклад каждой

АВТОРЫ:

М.Е. Жуковский – канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН;

e-mail: zhuk@kiam.ru

М.В. Скачков – канд. физ.-мат. наук, доцент, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;

e-mail: skachm@mail.ru

траектории в искомый функционал. Траектории частиц строятся по следующей схеме:

- Выбор (розыгрыш) начальной точки траектории в соответствии с плотностью распределения источника.
- Розыгрыш случайной величины — длины свободного пробега до точки взаимодействия частицы со средой.
- Вычисление координат очередной точки взаимодействия частицы.
- Вычисление вклада в искомый функционал.
- Проверка вылета частицы из рассматриваемой среды.
- Розыгрыш типа взаимодействия (поглощение или рассеяние).
- Розыгрыш нового направления движения в случае, если произошло рассеяние.

На рис. 1 изображен пример расчета потока гамма излучения через плоскость, расположенную за облучаемым объектом — ротором турбины. Такие расчеты позволяют прогнозировать результаты и оптимизировать методы рентгеновской диагностики сложных объектов, например, в области дефектоскопии. Для описания этого объекта использован поверхностно ориентированный подход [1], проведена триангуляция (несколько тысяч треугольников), а в расчетах применена разработанная авторами экономичная весовая модификация метода Монте-Карло.



Рис. 1. Объект (слева); поток нерассеянных фотонов после прохождения объекта (в центре); поток рассеянных фотонов (справа)

Статистическое моделирование переноса электронов и других заряженных частиц представляет значительно большую трудность, чем моделирование переноса фотонов. Взаимодействие нейтральных частиц с материалами объек-

тов характеризуется небольшим числом независимых столкновений с атомами вещества, а перенос электронов и других заряженных частиц происходит при постоянном действии кулоновских сил, приводящих к огромному числу элементарных взаимодействий. Моделирование процессов прохождения электронов через вещество является весьма затруднительным даже на современных суперкомпьютерах.

Отмеченные трудности обходят, используя методы группировки столкновений и приближения теории многократного рассеяния. При этом путь электрона в веществе моделируется с помощью так называемой «вложенной траектории». В отличие от реальных траекторий, где узлами являются точки столкновений, переход из одного узла вложенной траектории в другой есть результат многократного рассеяния. Основой для такого моделирования являются результаты теории многократного рассеяния, в частности распределение Гоудсмита—Саундерсона. Распределения, используемые в этой теории, — приближенные и имеют ограниченную область применимости. Недостатком моделей, использующих теорию многократного рассеяния, является наличие в расчетах систематической погрешности, обусловленной приближениями теории многократного рассеяния и использованием приближенных формул для вычисления продольного и поперечного смещения электрона.

В работе [2] предложена модель утолщенных траекторий (МУТ) для описания движения электронов в веществе. Ее преимущество заключается в отказе от использования приближенных распределений теории многократного рассеяния при сохранении экономичности вычислений. Распределения для расчетов с использованием МУТ получают путем расчетов прямым методом Монте-Карло вспомогательной задачи о рассеянии электронов, движущихся вдоль трубки. Важно отметить, что как при подготовке распределений, так и при их использовании для решения различных задач о прохождении электронов в веществе применяются параллельные алгоритмы, реализация которых предусматривает использование многопроцессорной вычислительной техники.

На рис. 2 изображены результаты решения задачи о распределении отраженных от вольфрамовой мишени электронов, полученные с помощью модели утолщенных траекторий. Такие задачи возникают, например, при проектировании перспективных рентгеновских аппаратов. Слева на этом рисунке изображена плотность потока вылетающих электронов с энергией 250 кэВ, а справа — 150 кэВ. При этом энергия падающих на мишень электронов — 300 кэВ, а угол падения коллимированного пучка — 60 градусов от нормали к поверхности мишени.

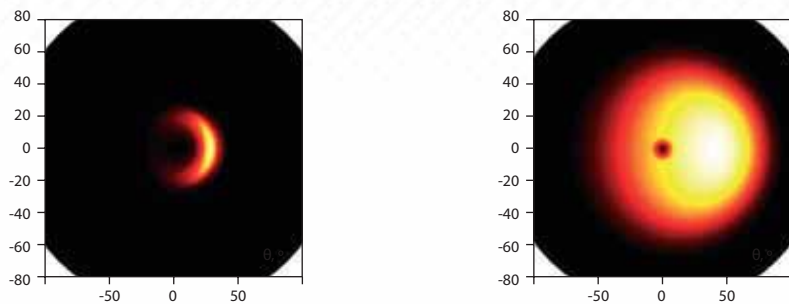


Рис. 2.
Распределение электронов «отраженных» от поверхности вольфрамовой мишени

Интересно отметить, что решение этой задачи с помощью широко применяемого пакета MCNP требует для достижения той же погрешности результатов в десятки раз больше процессорного времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загонов В.П., Жуковский М.Е., Подоляко С.В., Скачков М.В., Тиллак Г.-Р., Беллон К. Применение поверхностно ориентированного описания объектов для моделирования трансформации рентгеновского излучения в задачах вычислительной диагностики // Математическое моделирование. 2004. Т. 16, № 5. С. 103–116.
2. Жуковский М.Е., Скачков М.В. О статистических методах моделирования переноса электронов в веществе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Естественные науки". 2009. 1(32). С. 31–46.

Суперкомпьютерное моделирование столкновения галактик

