Московский инженерно-физический институт (государственный университет) Физико-технический факультет

Лекция 15

Особенности метода Монте-Карло. Физическая постановка задачи. Генератор случайных чисел. Алгоритм метода Монте-Карло в задачах переноса излучений. Получение локальных и интегральных характеристик поля нейтронов и гамма-квантов.

Особенности метода Монте-Карло

Метод Монте-Карло представляет собой численную процедуру, основывающуюся на статистическом подходе. Вообще говоря, этот метод не является методом решения уравнения переноса излучений. Метод Монте- Карло особенно полезен в особых случаях, например, при сложной геометрии, когда использование других методов затруднено. Кроме того, когда сечение сложным образом зависит от энергии, метод Монте-Карло устраняет необходимость проводить вспомогательные расчеты, например распределения потоков в резонансной области энергий. Метод может быть полезен также для определения групповых констант, требующихся в многогрупповых приближениях.

Физическая постановка задачи

Применимость метода Монте-Карло при расчете переноса нейтронов основывается на том, что макроскопическое сечение может быть интерпретировано как вероятность взаимодействия на единичном пути пробега нейтрона (гамма-кванта). В методе Монте-Карло генерируется ряд историй нейтронов, причем рассматривается их судьба в ходе последовательных столкновений. Место столкновений и их результат, т. е. направление и энергия появляющегося нейтрона (или нейтронов), определяются с учетом вероятностей с помощью случайных чисел.

Генератор случайных чисел

Случайные числа, необходимые для расчетов методом Монте-Карло, обычно генерируются вычислительной машиной, с помощью генератора случайных чисел. Генератор случайных чисел выбирает числа ξ_1, ξ_2, ξ_3 … случайным образом из интервала $0 \leq \xi_i \leq 1$. Это означает, что вероятность $p(\xi_i)\, d\xi_i$ для ξ_i оказаться между ξ_i и $\xi_i + d\xi_i$ есть $d\xi_i$, если $0 \leq \xi_i \leq 1$. Т.е. $p(\xi_i) = 1$.

Алгоритм метода Монте-Карло в задачах переноса излучений

Первый шаг − выбор направления движения нейтрона. Для этого используются два первых случайных числа ξ_1 и ξ_2. Азимутальный угол можно выбрать равным $\varphi = 2\ \xi_1$, а косинус полярного угла $\mu = 2\ \xi_2 - 1$.

Следующий шаг − нахождение места первого столкновения. Пусть сечение в выбранном направлении на расстоянии s от источника обозначено σ(s). Тогда вероятность того, что нейтрон испытает столкновение между s и s + *ds,* равна:

$$P(s)\,ds = \sigma(s) \exp\left[-\int_0^s \sigma(s')\,ds'\right] ds$$

Для нахождения s − места первого столкновения используется третье случайное число ξ_3:

$$\ln \xi_3 = -\int_0^s \sigma(s')\,ds'.$$

Получение локальных и интегральных характеристик поля нейтронов и гамма-квантов

При решении уравнения переноса методом Монте-Карло возникающие неточности связаны не с погрешностями метода, как это имеет место в многогрупповых приближениях, а с ограниченным числом рассматриваемых историй нейтронов. Разработаны методы, позволяющие свести к минимуму эти ошибки при данном объеме вычислительных работ.

Случайно может оказаться при рассмотрении истории замедляющегося нейтрона, что он поглощается уже в первом столкновении. Вместо того, чтобы прекратить рассмотрение, обычно имеет смысл продолжить его, но приписать этому нейтрону меньший вес, пропорциональный вероятности рассеяния при этом столкновении. В результате история нейтрона может быть прослежена до тех пор, пока приписанный ему таким образом вес не станет слишком малым или пока нейтрон не покинет систему.