

И. В. Б у г а й (Королев, Технологический университет). **Метод Монте-Карло для переноса ионизирующего излучения в многослойной преграде.**

В работе рассматривается методика расчета характеристик излучения в многослойной преграде на основе одной из модификации метода Монте-Карло.

Математическая постановка задачи сводится к уравнению переноса с заданными источником и сечениями взаимодействия, зависящими от спектра излучения:

$$\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \Phi(\vec{V}) + \omega \nabla \Phi(\vec{V}) + \mu^t \Phi(\vec{V}) = \sum_{l=1}^2 \int d\vec{\omega}' \int dE' \mu_l^s(\vec{r}, t, E' \rightarrow E, \vec{\omega}' \rightarrow \vec{\omega}) \Phi(\vec{V}') + S(\vec{V}),$$

$$\vec{V} = \{\vec{r}, t, E_p, \vec{\omega}\}, \quad \vec{V}' = \{\vec{r}, t, E'_p, \vec{\omega}'\}.$$

При численном моделировании строится цепь Маркова, переходные вероятности которой определяются процессами взаимодействия излучения с веществом, а начальное распределение его источником. Строится заданное число траекторий марковского процесса и проводится оценка требуемых расчетных функционалов.

В работе применяется модификация «аналитического осреднения», в которой величина парциального вклада в детектор пропорциональна вероятности нерассеянного вклада по направлению движения кванта.

Моделирование траектории кванта проводится аналогично «оценке по пересечениям», посредством продолжения ее аналитически в каждом звене при пересечении с детектором и последующим статистическим осреднением вкладов в детекторы.

Для повышения эффективности моделирования при оценке вкладов и уменьшения статистического разброса используется метод плотностей столкновений.

Алгоритм расчета состоит из четырех основных частей: определение расчетных коэффициентов для заданной композиции по слоям и отдельным химическим элементам; выбор направления движения и энергии кванта, воздействующего на преграду; построение траектории; расчет вкладов в детектор излучения.

При расчете l -й траектории i -я точка взаимодействия кванта определяет парциальный вклад в q -ю плоскость-детектор из соотношения:

$$P_{qil}(E_i, \theta_i) = \frac{E_i}{E_0} \exp\{-\tau(E_i, \theta_i, m_q)\} \frac{\theta_0}{\cos \theta_i},$$

$$\tau(E_i, \theta_i, m_q) = \int_{m_i}^{m_q} \sigma^t(E_i, m) dm / |\cos \theta_i|,$$

где E_0 , θ_0 , E_i , θ_i — соответственно начальная энергия кванта и угол падения на преграду и данные параметры после i -й точки взаимодействия; m_q — массовая координата q -ого детектора; ρ — плотность материала преграды.

Величина парциального вклада в импульс находится аналогично, но добавляется умножение на величину $\cos(\theta_i)$. При вычислении энерговыделения парциальный вклад

умножается на коэффициент поглощения энергии $\sigma_{\Sigma e}$. Конечные значения характеристик вычисляются суммированием по числу точек взаимодействия и последующим осреднением по разыгрываемым траекториям.

Оценка функции распределения проводится суммированием величин P_{ij} по всем точкам рассеяния, усреднением по числу разыгранных траекторий и величинам интервалов телесных углов $\Delta\theta$, энергии ΔE_p и времени Δt на поверхности детектора.

Учет временного распределения источника основывается на том, что свойства среды и процессы взаимодействия в ней не зависят от времени. Вклад в детектор от кванта с заданными начальными параметрами после i -го взаимодействия при обычной схеме регистрируется только в одной ячейке по времени.

В каждой точке траектории, где происходит взаимодействие кванта с материалами преграды, разыгрывается химический элемент, на котором оно реализуется. Коэффициенты истинного поглощения квантов при фотоэффекте определяются с учетом выноса энергии флуоресцентными квантами и вторичными электронами из соотношения

$$\mu_a(E_i) = \mu^{\text{фот}}(E_i) (1 - \text{del}(E_i)),$$

где величина $\text{del}(E_i)$ определяет вынос энергии при фотоэффекте и определяется в зависимости от энергии.

Данная методика для случая планковского спектра может использоваться при оценке профиля энерговыделения многослойной многокомпонентной преграды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Острик А. В.* Термомеханическое действие рентгеновского излучения на многослойные гетерогенные преграды в воздухе. М.: НТЦ Информтехника, 2003, 160 с.
2. *Бакулин В. Н., Грибанов В. М., Острик А. В., Ромадинова Е. А., Чепрунов А. А.* Методы оптимального проектирования и расчета композиционных конструкций. Т. 2. Механическое действие рентгеновского излучения на тонкостенные композитные конструкции. М.: Физматлит, 2008, 256 с.
3. *Грибанов В. М., Острик А. В., Ромадинова Е. А.* Численный код для расчета многократного комплексного действия излучений и частиц на многослойный многофункциональный гетерогенный плоский пакет. Черногловка: ИПХМ РАН, 2006, 92с.
4. *Острик А. В.* Расчет энерговыделения в задачах теплового и механического действия рентгеновского излучения на композитные преграды в неоднородной воздушной среде. — Конструкции из композиционных материалов, 2000, в. 4, с. 9–20.
5. *Бакулин В. Н., Бугай И. В., Острик А. В.* 2D-модель теплового действия потоков излучений и частиц на конструкции из композитных материалов. — Материалы IX Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ2012), Алушта. М.: Изд-во МАИ, 2012, с. 533–534.