

М.С. Носкова
(Беларусь, Могилев)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ СМЕСИ С МАЛОУГЛОВЫМ РАССЕЯНИЕМ

В работе рассматривается перенос излучения в стохастических неоднородных смесях с малоугловым рассеянием. Стохастическая неоднородная смесь (СНС) – среда, состоящая в общем случае из нескольких несмешивающихся компонент, каждая из которых имеет свои оптические характеристики [1]:

– $f_1(\Omega; \Omega')$, σ_1 и ε_1 – индикатрису рассеяния, показатели рассеяния и ослабления 1-й компоненты смеси,

– $f_2(\Omega; \Omega')$, σ_2 и ε_2 – индикатрису рассеяния, показатели рассеяния и экстинкции 2-й компоненты смеси и т.д.

Линейные размеры участков пространства, занимаемых компонентами (хорды компонент), являются случайными величинами.

Типичным примером двухкомпонентной СНС является разорванная облачность: пересекающий ее фотон (рис. 1, кривая АБ) проходит сквозь чередующиеся участки облаков (компонента 1) и межоблачного пространства (компонента 2).

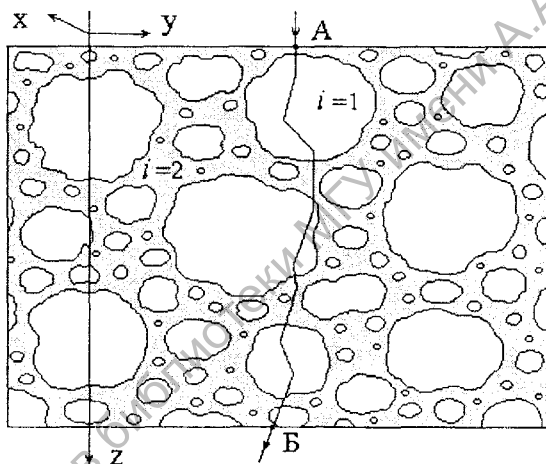


Рис. 1

Схематическое изображение пространственного распределения компонент стохастической неоднородной смеси и траектории проходящего через нее фотона.

Внутренняя структура каждой из компонент считается однородной. Стохастичность задачи проявляется только в статистике распределения облачного поля, т.е. в вероятности присутствия в данной точке облака или ясного неба.

В качестве других примеров СНС можно рассматривать [1]: мелкие кровеносные сосуды и окружающую их ткань; легочную ткань, состоящую из большого количества альвеол, заполненных воздухом; защиту ядерных реакторов (бетонные конструкции с гравием); ядерные реакторы с кипящей водой (турбулентная смесь жидкости и пара);

неоднородности, возникающие в результате плазменных неустойчивостей при облучении лазером дейтериево-тритиевых таблеток в реакторах с инерционным удержанием плазмы.

Если случайные значения хорд компонент СНС описываются экспоненциальным распределением, некоторые передаточные характеристики среды можно получить в аналитическом виде [2; 3]. Подобная СНС называется марковской смесью.

Получить аналитическое описание переноса излучения в случайно-неоднородной среде в общем случае (для произвольного числа компонент с произвольной статистикой распределения) невозможно, поэтому наиболее приемлемым способом решения подобной задачи является численное моделирование.

В данной работе представлен алгоритм имитационного моделирования переноса излучения в двухкомпонентной стохастической неоднородной смеси, разработанный на основе метода Монте-Карло. Расчеты производятся для следующих статистик распределения компонент:

1. однородного распределения: $\varphi_i(s_i) = \frac{1}{2(l_i - \alpha_i)}$,

2. экспоненциального распределения: $\varphi_i(s_i) = \frac{1}{l_i} \exp\left(-\frac{s_i}{l_i}\right)$,

3. распределения Гаусса $\varphi_i(s_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi d_i}} \exp\left(-\frac{(s_i - \alpha_i)^2}{(2d_i)}\right)$,

где $\varphi_i(s_i)$ – функция плотности вероятности случайной величины s_i , характеризующей линейные размеры участков пространства, занимаемых i -й компонентой смеси вдоль направления распространения пучка (i – индекс, указывающий номер компоненты), l_i – среднее значение s_i ; α_i – минимальное значение s_i ; d_i – дисперсия распределения s_i .

СНС рассматривается как одномерная стохастическая среда, состоящая из чередующихся плоских слоев случайной толщины, занимаемых первой и второй компонентами. Тем не менее, в области применимости малоуглового приближения, зависимость переноса излучения от размера неоднородностей в направлении, перпендикулярном оси пучка, минимальна, что и оправдывает переход к одномерной модели. Значение толщины слоя, занимаемого данной компонентой, получаем, используя методы, описанные в [4, с.178]. Индикаторы рассеяния имеют вид аппроксимации Хеньи-Гринштейна.

Порядок чередования компонент и толщина слоев, занимаемых первой и второй компонентами смеси, разыгрывался для каждого

фотона отдельно по мере его прохождения сквозь слой среды, что повышает степень усреднения результатов.

Чтобы оценить влияние стохастичности среды на перенос излучения, в работе производится также расчет коэффициента пропускания эквивалентной однородной смеси. Эквивалентная однородная смесь – среда, в которой компоненты, составляющие СНС, перемешаны равномерно. Результаты расчетов показывают, что коэффициенты пропускания СНС с различными статистиками распределения s_i значительно различаются между собой и могут в несколько раз превосходить коэффициент пропускания эквивалентной однородной смеси.

Алгоритм расчета может быть легко адаптирован для расчета коэффициентов пропускания стохастических сред с произвольным числом компонент.

Литература

1. Pomraning, G.C. Linear Kinetic Theory and Particle Transport in Stochastic Mixtures / G.C. Pomraning. – World Scientific Publishing, Singapore, 1991. - 235 p.
2. Valentyuk, A.N. Stochastic radiative transfer in M-component mark-ovian mixtures / A.N. Valentyuk // J. Quant. Spectr. Radiat. Transfer. – 1998. – Vol 60, № 6. – P. 1069-1086.
3. Noskova, M.S. Small angle model of radiative transfer in a binary mark-ovian mixture / M.S. Noskova // Twelfth Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics / Atmospheric Physics, Tomsk, Russia, 27-30 June 2005. / Institute of Atmospheric Optics SB RAS; ed. by G.G. Matvienko, G.A. Zherebtsov, Proc. of SPIE Vol. 6160, 2006. – P. 616016-1-616016-7.
4. Кольчужкин, А.М. Введение в теорию прохождения частиц через вещество / А.М. Кольчужкин, В.В. Учайкин. – Москва, Атомиздат, 1978. – 256 с.