«Оптика атмосферы и океана», **24**, № 2 (2011)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛН

УДК 535.2; 535.16

Выделение особенностей поля яркости в мутной среде на основе малоугловых решений теории переноса

В.П. Будак[1], Я.А. Илюшин[2]*

[1]*Московский энергетический институт (ТУ)*
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14
[2]*МГУ им. М.В. Ломоносова*
119992, г. Москва, Ленинские горы, ГСП-2

Поступила в редакцию 1.07.2010 г.

Предлагается новый, улучшенный подход к вычислению анизотропной части диффузного светового поля в мутной среде. Обсуждаются примеры применения к конкретным задачам теории переноса излучения, показывающие точность и гибкость предлагаемого подхода на практике.

Ключевые слова: уравнение переноса излучения, малоугловое приближение, дисперсия путей рассеянных фотонов; radiative transfer equation, small angle approximation, photon path distribution function.

Введение

Световой луч в действительности является основным объектом теории переноса излучения, впервые феноменологически сформулированной Chwolson [1] на основе представлений лучевой (геометрической) оптики. Последующие попытки строгого вывода теории переноса излучения из основных принципов классической электродинамики [2, 3] фактически привели к подтверждению этого положения. Таким образом, элементарным инфинитезимальным решением уравнения переноса излучения (УПИ) является луч, представляющий собой сингулярную (особенную) функцию пространственных и угловых переменных. Это значит, что пространственные и угловые особенности сохраняются в решении уравнения переноса излучения, если они присутствуют в начальной конфигурации источников света, порождающих световое поле в мутной среде.

Для корректного учета этого факта с математической точки зрения решение УПИ требуется искать среди обобщенных функций.

На практике часто удается выделить некоторую часть решения, содержащую в себе особенности, в форме замкнутого аналитического выражения [4]. После этого остальная (регулярная) часть решения, не содержащая обобщенных функций и особенностей, может быть найдена в дискретизованном виде с помощью какого-либо численного алгоритма.

Это особенно важно при наличии в среде сильно анизотропного рассеяния, возникающие при котором трудности хорошо известны [5]. Дискретизация УПИ методом дискретных ординат (ДО), сферических гармоник (СГ) или другими методами в этом случае приводит к бесконечной системе дифференциальных уравнений. Удачное выделение особенной части из общего решения задачи позволяет сделать такую систему конечной, что дает возможность численного решения задачи в целом. В современных приложениях теории переноса [6], предъявляющих все возрастающие требования к точности численного расчета, регуляризация особенностей решения УПИ является ключевым фактором, фактически определяющим возможность успешного решения проблемы.

В простейшей классической задаче об однородном плоском слое мутной среды, освещенном однородным потоком параллельных коллимированных лучей, особенной частью светового поля является нерассеянная (ослабленная) часть падающего потока. Чандрасекар [7] выделил эту часть излучения в виде отдельного слагаемого в решении УПИ и исследовал нахождение остальной части решения методом дискретных ординат на основе квадратурных формул Гаусса. Романова [8] и Irvine [9] вместе с нерассеянным потоком излучения выделили в отдельное слагаемое в решении также часть излучения, рассеянного на малые углы, на основе малоуглового приближения (МУП), сформулированного Goudsmit и Saunderson [10].

Предлагались также и другие варианты аналитических выражений для сингулярных частей светового поля, в частности однократно рассеянное излучение [11], рассеянное вперед излучение в приближении Кирхгофа на сферах эквивалентного радиуса [12] и т.д.

В работе [13] в рамках малоугловой модификации метода сферических гармоник получен ряд приближенных выражений для анизотропной части светового поля вместе с особенностями как для плоскослоистой, так и для сферической геометрии. Полученные

* Владимир Павлович Будак (BudakVP@mpei.ru); Ярослав Александрович Илюшин (ilyushin@physics.msu.ru).

ŋqqbqyeY bⱫ deqƐbYse d ɘɔɑɓɔɣ ɟqqbYqyè