**Численный метод решения задачи переноса излучения в атмосфере в параллелепипеде**

**Копцов Я.В.**

аспирант

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Физический факультет, Москва, Россия

E–mail: [koptcov.iv17@physics.msu.ru](mailto:koptcov.iv17@physics.msu.ru)

Решение задачи переноса излучения позволяет восстановить характеристики различных компонентов атмосферы и энергетический баланс атмосферы, что необходимо для многих приложений в области дистанционного зондирования и теории климата. Для того чтобы учитывать горизонтальные неоднородности атмосферы, такие как разорванность облачности и формы облаков и т. п., необходимо решать трехмерную задачу переноса излучения. Цель работы - написать эффективный вычислительный код, решающий эту задачу.

В работе представлен численный метод решения задачи переноса излучения в параллелепипедальной ячейке. Он основан на методе конечных разностей, а также сочетает методы установления и дискретных ординат, для использования явной схемы и упрощения учета рассеяния, соответственно [1].

Решается уравнению переноса излучения в параллелепипеде с двумя типами граничных условий, одно из которых периодическое:

где – альбедо однократного рассеивания, – индикатриса рассеяния, – вектор направления, – вектор направления падающего излучения.

Горизонтальные периодические граничные условия:

Вторые граничные условия удаляет излучение, вышедшее из ячейки:

Согласно методу установления стационарные задачи (1, 2), (1, 3) заменяется на соответственное нестационарное уравнение, решение которого сходится к решению первоначальной задачи при , а метод дискретных ординат состоит в том, что интеграл рассевания аппроксимируется суммой с помощью квадратурной формулы. Уравнение (1) распадается на уравнения:

где и – веса и направляющие косинусы по оси , используемой квадратурой формулы, – потоки излучения в дискретных направлениях

Для решения этой системы дифференциальных уравнений используем метод конечных разностей. Для этого введем обозначения для аппроксимаций производных в конечных разностях:

В обозначениях (5) уравнения (4) принимают вид:

и в конечных разностях после выражения будущего значения интенсивности их прошлого значения уравнения (6) станут:

где коэффициенты , , , ,

, *.*

В ходе работы был написан вычислительный код, использующие этот метод. Он легко изменяется для решения аналогичных задач, при иных граничных условиях на границе, а также может быть использован в не анизотропной атмосфере и при учёте поляризации. Также этот метод позволяет легко применить распараллеливание. Типичное угловое распределение излучения в нижней и верхней полусферах показано на рис. 1а и 1б.

|  |
| --- |
|  |
| |  |  | | --- | --- | | а. Рэлеевское угловое распределение излучения в нижней полусфере, диффузное отражение. | б. Рэлеевское угловое распределение излучения в верхней полусфере, диффузное пропускание. | |
| Рис. 1. Зависимость интенсивности от косинуса зенитного угла. Точками отмечено решение для периодических граничных условий, оно полностью соответствует решению аналогичной одномерной задачи на отрезке , бесконечном слое конечной толщины, квадратами отмечено решение при вторых граничных условиях. Параметры в расчётах . |

**Литература**

1. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. М.: Мир, 1972. 418 c.