

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙНИЯ СВЕТА НА АТМОСФЕРНЫХ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛАХ
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

Д.Н. Тимофеев, А.В. Коношонкин

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.Г. Боровой

Институт оптики атмосферы имени В.Е. Зуева СО РАН,

Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, 634055

E-mail: tdn@iao.ru

**SIMULATION OF LIGHT SCATTERING ON ATMOSPHERIC ICE CRYSTALS WITH IRREGULAR
SHAPE**

D.N. Timofeev, A.V. Konoshonkin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.G. Borovoi

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, RAS,

Russia, Tomsk, Academician Zuev sq., 1, 634055,

E-mail: tdn@iao.ru

***Abstract.** In the present paper the algorithm of light scattering simulation for irregular ice crystals that are typical for cirrus clouds is presented. It is based on the beam-splitting algorithm that was developed in IAO SB RAS. The algorithm transforms incident light field into scattered field. The previous algorithm is applicable for regular crystals such as hexagonal columns and plates but the new one treats hollow-columns, bullet-rosettes, aggregates etc. For implementation of the developed algorithm the program that calculates light scattering matrix for predefined crystals was created. The program works within the geometrical and physical optics approximations. The results of test calculations were compared with calculations of the program that implemented the well-known ray-tracing algorithm and show sufficient agreement.*

Введение. Атмосферные ледяные кристаллы, прежде всего, характерны для перистых облаков. Облака покрывают от 65 до 70% поверхности Земли и примерно 30% этих облаков являются перистыми. Перистые облака состоят из ледяных кристаллов различных форм и размеров (рис. 1). Они существенно влияют на процесс переноса солнечной энергии и, как следствие на формирование климата нашей планеты [1]. Получаемые в ходе изучения этого процесса сведения используются для улучшения качества прогноза погоды, объяснения явлений происходящих в атмосфере, а также для исследования загрязнений атмосферы. В связи с этим, актуальной является задача рассеяния света на частицах перистых облаков. Для решения прямой задачи рассеяния применяется метод компьютерного моделирования. Одним из алгоритмов, моделирующих процесс рассеяния света, является алгоритм трассировки пучков [2], получающий характеристики рассеянного света в приближении геометрической и физической оптик. Долгое время проводились расчёты кристаллов только простой формы, однако некоторые получаемые характеристики плохо сходились с данными лазерного зондирования. В связи с этим появилась необходимость усложнять форму кристаллов, что потребовало переработку существующего алгоритма. В данной работе представлена программа для расчёта матрицы рассеяния для атмосферных ледяных кристаллов сложной формы. За основу был взят алгоритм трассировки пучков,

работающий с простыми частицами. В качестве тестовой модели частицы был выбран гексагональный столбик с пирамидальными углублениями в основаниях. Сравнение результатов расчётов разработанной программы с результатами алгоритма лучевой трассировки на частицах сложной формы показали хорошее согласие.

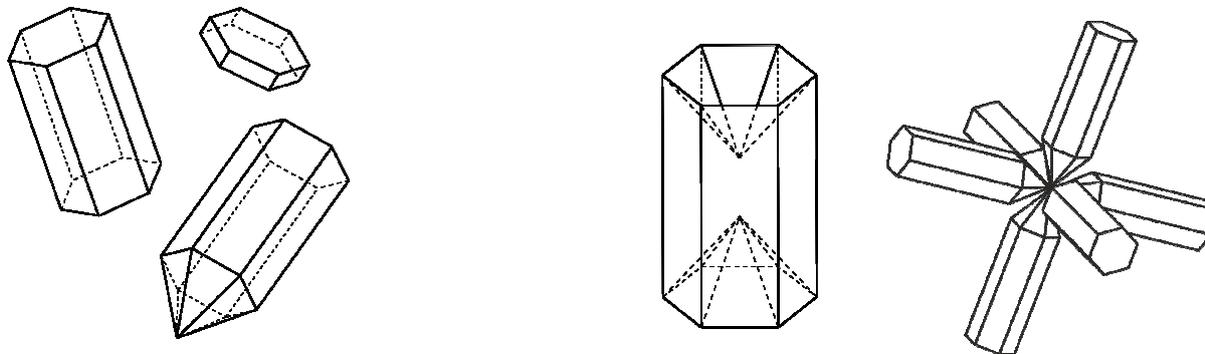


Рис. 1. Примеры простых (слева) и сложных (справа) кристаллов

Материалы и методы исследования. Разработанный алгоритм рассчитан на работу с кристаллами сложной формы. Основное отличие сложных кристаллов от простых заключается в наличии вогнутостей в форме кристалла. Эта особенность приводит к появлению особых случаев при трассировке пучков света. Один из них – образование пучков света невыпуклой формы. Образование таких пучков крайне нежелательно, т.к. их корректное пересечение с гранями частицы требует усложнения алгоритма и, как следствие, время трассировки значительно возрастает. У частиц простой формы исключено образование невыпуклых пучков. Однако наличие вогнутостей в частице может способствовать их образованию. На рис. 2 изображена частица с вогнутостью на месте верхнего основания и пучок света, направленный от нас. В данном случае одна часть пучка попадает в пространство внутри вогнутости, а вторая падает на поверхность частицы, принимая невыпуклую форму.

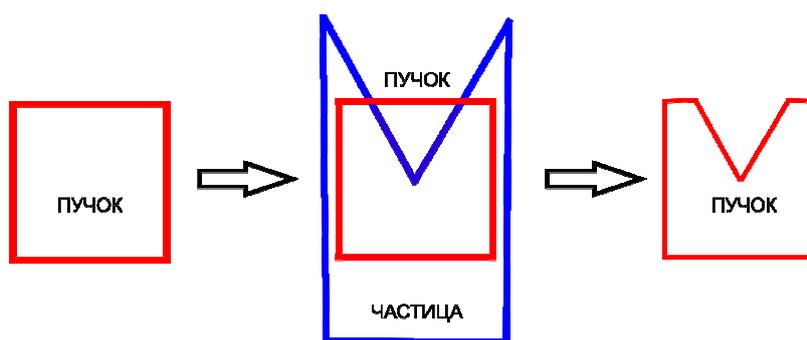


Рис. 2. Образование невыпуклого пучка света

Для предотвращения образования вышеописанных типов пучков в алгоритме МТП предусмотрено деление пучка света на выпуклые части во время его пересечения с гранью частицы. Для реализации пересечения использовался алгоритм Сазерленда-Ходсмана [3].

Результаты. Разработана компьютерная программа, реализующая данный алгоритм. Рассчитаны матрицы рассеяния света для тестового кристалла в приближении геометрической и физической оптик. На рис. 3 приведена зависимость элемента матрицы M_{11} от угла рассеяния (в диапазоне от 0 до 180°) и угла вогнутости в основаниях кристалла (от 0 до 36°). Расчёт проводился для кристалла высотой 100 мкм, диаметром 69,6 мкм, показателем преломления 1,31 для случая хаотической ориентации в пространстве в приближении геометрической оптики.

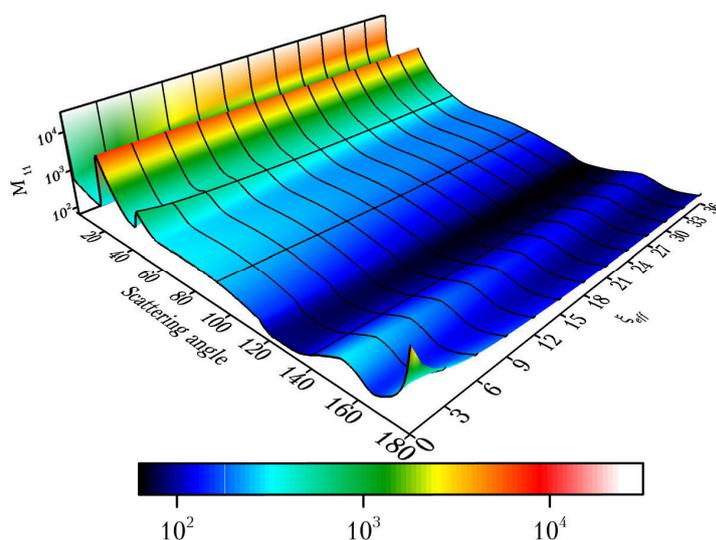


Рис. 3. Индикатриса рассеяния для гексагонального столбика при различной глубине вогнутостей

Заключение. Разработан алгоритм для моделирования процесса рассеяния света для атмосферных ледяных кристаллов сложной формы. Создана программа для расчёта матрицы рассеяния света для заданного кристалла. Результаты программы сравнивались с хорошо известным аналогом в приближении геометрической оптики. Алгоритм применим как для простых, так и сложных кристаллов в приближении геометрической и физической оптик.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (16-35-60089, 18-05-00568, 18-55-53046) и грантов Президента РФ (МК-2495.2017.5 и НШ-8199.2016.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liou, K.-N. An Introduction to Atmospheric Radiation. – Academic Press, 2002. – 583 с.
2. Konoshonkin A.V., Kustova N.V., Borovoi A.G. Beam-splitting code for light scattering by ice crystal particles within geometric-optics approximation // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. – 2015. – Т. 164. – С. 175–183.
3. Sutherland-Hodgman algorithm, [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Sutherland%E2%80%93Hodgman_algorithm/ (дата обращения 30 января 2018).