

Расчет поляризационных матриц рассеяния фрактальных кластерных частиц атмосферного аэрозоля Титана

М. П. Черешенков¹, Я. А. Илюшин^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, ²Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

Аэрозоль атмосферы Титана представляет собой фрактальные агрегаты, образованные за счёт взаимодействия друг с другом продуктов разложения метана и азота под действием фотонов солнца и энергетических электронов от магнитосферы Сатурна. В результате получается множество кластеров, каждый из которых достаточно уникален по своей природе. Такая уникальность может вызывать некоторые неточности в анализе данных. Если стоит цель рассчитать оптические характеристики на агрегатах определённого размера, то могут быть получены результаты, не определяющие всю совокупность таких агрегатов, а лишь частный случай. Поэтому возникает вопрос: "Представляют ли усреднённые характеристики рассеяния агрегатов, одного размера и образованных одним и тем же методом, свойства ансамбля случайных агрегатов?". Этим же вопросом задаются и в работе [1, 2], что даёт этому вопросу актуальность. Главным фактором, требующего учёта, является отличие результатов усреднения для различных методов. На данный момент наиболее известные методы формирования фрактальных частиц делятся на три вида: ВССА [3] (с англ. Баллистическая кластер-кластер агрегация), ВРСА (с англ. Баллистическая частица-кластер агрегация), DLA [4] (с англ. Агрегация ограниченная диффузией). Все три метода имеют уникальные алгоритмы, а также каждая агрегация характерна для разных высот атмосферы. ВРСА и DLA являются более правдоподобными для низких слоёв атмосферы, так как являются более плотными по своей структуре, а вот ВССА наоборот, является подходящим для верхних слоёв, что обусловлено её пористой структурой. Для получения координат таких агрегатов был написан параллельно-вычислительный код на языке C++, что позволило ускорить процесс генерации в несколько раз, относительно последовательного вычисления.

Также нужно отметить, что для расчёта поляризационных матриц требуется информация о комплексных показателях преломления. Экспериментальные данные, описывающие вещество, схожего по химическому составу с толинами, взяты из работы [5].

В настоящей работе проводится усреднение двух первых элементов матрицы рассеяния,

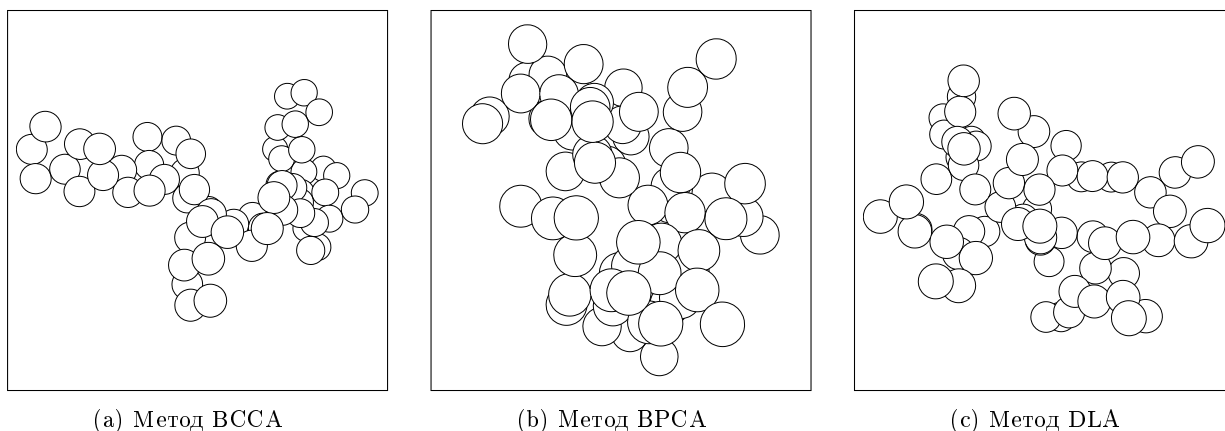


Рис. 1: Фрактальные частицы, полученные различными методами агрегации: (a) Баллистическая кластер-кластер агрегация; (b) Баллистическая частица-кластер агрегация; (c) Агрегация ограниченная диффузией.

так как они представляют наибольший интерес (S_{11} - интенсивность рассеянного света, $-S_{12}/S_{11}$ - линейная поляризация). Усреднение проходит по фиксированному количеству агрегатов для каждого количества частиц. Вместе с усреднёнными значениями находится стандартное отклонение для оценки точности усреднённых данных.

Для расчёта поляризационных матриц рассеяния используется реализация метода Т-матриц, созданная Мищенко и Маковски [6]. Этот код написан как для серийных, так и для параллельных вычислений. В данной работе используются результаты параллельного вычисления на серийном устройстве с многоядерным процессором.

Анализ данных показал, что наблюдается увеличение точности усреднённых значений с ростом количества частиц для двух определённых методов, DLA и ВРСА. Такое поведение связано с нарушением симметрии агрегатов с ростом частиц для метода ВССА. Также выявлен "пик неточности" для интенсивности, расположение которого зависит от количества частиц и структуры исследуемого агрегата.

Что касается линейной поляризации, то полученные результаты не совпали с данными, полученными в работе Колоколовой и др. [7]. Расхождение данных объясняется тем, что в настоящей работе было проведено усреднение агрегатов, имеющих разные фрактальные размерности. Помимо этого, было выявлено, что точность линейной поляризации растёт с ростом частиц, причём для агрегатов большего размера отклонение линейной поляризации стремиться быть одинаковым на всех углах рассеяния.

Литература

1. Yu.V. Skorov, H.U. Keller, A.V. Rodin, Optical properties of aerosols in Titan's atmosphere, Planetary and Space Science, Volume 56, Issue 5, 2008, Pages 660-668, DOI: 10.1016/j.pss.2007.11.013.
2. Yu.V. Skorov, H.U. Keller, A.V. Rodin, Optical properties of aerosols in Titan's atmosphere: Large fluffy aggregates, Planetary and Space Science, Volume 58, Issues 14-15, 2010, Pages 1802-1810, DOI: 10.1016/j.pss.2010.08.002.
3. Sota Arakawa, Masaki Takemoto, Taishi Nakamoto, Geometrical structure and thermal conductivity of dust aggregates formed via ballistic cluster-cluster aggregation, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2019, Issue 9, September 2019, 093E02, DOI: 10.1093/ptep/ptz102
4. Halsey, Thomas, Diffusion-Limited Aggregation: A Model for Pattern Formation, Physics Today, 53, 2000, DOI: 10.1063/1.1333284.
5. S.I. Ramirez, P. Coll, A. da Silva, R. Navarro-González, J. Lafait, F. Raulin, Complex Refractive Index of Titan's Aerosol Analogues in the 200-900 nm Domain, Icarus, Volume 156, Issue 2, 2002, Pages 515-529, DOI: 10.1006/icar.2001.6783.
6. Mackowski, Daniel, Calculation of the T matrix and the scattering matrix for ensembles of spheres, Journal of The Optical Society of America A-optics Image Science and Vision, 13, 1996, DOI: 10.1364/JOSAA.13.002266.
7. Ludmilla Kolokolova, Hiroshi Kimura, Klaus Ziegler, Ingrid Mann, Light-scattering properties of random-oriented aggregates: Do they represent the properties of an ensemble of aggregates?, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, Volume 100, Issues 1-3, Pages 199-206, 2006, DOI: 10.1016/j.jqsrt.2005.11.038.