Ильин В.Б.[[1]](#footnote-1),[[2]](#footnote-2),[[3]](#footnote-3), Туричина Д.Г.1,2, Фарафонов В.Г. 3, Гончаров Г.А.2,

Марчук А.А.1,2, Мосенков А.В. 2,[[4]](#footnote-4), Савченко С.С.1,2,[[5]](#footnote-5), Смирнов А.А.1,2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

СО СФЕРОИДАЛЬНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

В АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Космическая пыль играет важную роль в физических процессах, протекающих во всех астрономических объектах: от планетных систем до активных ядер далеких галактик. Тем не менее, основные характеристики космических пылевых частиц (химический состав, форма, размер) остаются пока неясными. В современной астрофизике господствует модель пылинок в виде слоистых сфероидов. В данной работе мы представляем новые вычислительные средства, развитые нами для моделирования взаимодействия таких частиц с излучением.

Взаимодействие излучения со слоистыми сфероидами может быть рассчитано различными методами (см., напр., [1]). Универсальные методы (FDTD, IITM, DDA и др.) способны рассматривать частицы сложной формы и структуры, но для сфероидов неэффективны при массовых расчетах. Используемое в теории Ми разложение полей по сферическим функциям легко распространяется на осесимметричные (слоистые) частицы (в частности, сфероиды). Однако несоответствие между применяемыми при этом сферическими координатами и геометрией рассеивателя приводит к тому, что такой подход быстро теряет точность с ростом асферичности частицы или ее дифракционного параметра. Оптимальным при решении проблемы является использование сфероидальных координат, связанных с поверхностью частицы, и соответственно разложение полей по сфероидальным функциям. Однако существовал ряд моментов, затруднявших такой подход.

Мы сделали несколько принципиальных улучшений такого метода:

1. Расчет сфероидальных функций комплексного аргумента до недавнего времени был ненадежным. Использование при вычислениях расширенной точности и новых процедур van Buren, теперь существенно изменили ситуацию.

2. Важным инструментом для моделирования ансамблей частиц является *T*-матрица, значительно ускоряющая расчеты. Мы получили оригинальные соотношения, связывающие эту матрицу в случае использованного нами сфероидального базиса со стандартной матрицей [3].

3. Применяя преобразование *Т*-матриц, нам удалось существенно ускорить и уточнить расчеты в случае сложной TE моды, используя матрицу, получаемую для более простой и устойчивой ТМ моды.

4. Более ранние реализации метода были разработаны в прошлом веке. Мы создали код, в котором впервые применяются современные программные средства.

5. Разработанная программа вычисления оптических свойств ансамблей сфероидальных частиц была включена в новую систему CosTuuM, готовящую данные для работы программ расчета переноса поляризованного излучения [3].

При тестировании мы производили сравнение наших результатов с данными работы других программ (в области их применимости). Вне ее для проверок применялись оптическая теорема и анализ сходимости результатов с ростом числа учитываемых слагаемых. Тесты показали, что точность расчетов слабо зависит от параметров задачи и превышает 6 значащих цифр.

В виде иллюстрации возможностей нашего метода на Рис. 1 мы привели результаты вычисления элементов матрицы рассеяния, полученные для значений параметров, недостижимых другими подходами.

|  |
| --- |
|  |
| *Рис*.1. Элементы матрицы рассеяния для больших сплюснутых сфероидов с отношением полуосей *a*/*b* = 2 и 10, показателем преломления *m* = 1.5 + 0.01*i* и дифракционным параметром *x*v = 80. |

*Ключевые слова:* космическая пыль, рассеяния света, сфероидальная модель

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 20-72-10052.*

**Список литературы**

1. Mishchenko, M.I., Hovenier, J.W., Travis, L.D. Light Scattering by Nonspherical Particles, Academic Press: San Diego, 2000.
2. Фарафонов, В.Г., Ильин, В.Б., Туричина, Д.Г. О связи Т-матриц, возникающих в осесимметричной задаче рассеяния света сфероидом // Оптика и спектроскопия, 2022, 130, 273-281.
3. Vandenbroucke, B., Baes, M., Camps, P. CosTuuM: polarized thermal dust emission by magnetically oriented spheroidal grains // Astronomical Journal, 2020, Vol.160, id. 55.

1. Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9 [↑](#footnote-ref-1)
2. Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН, Российская Федерация, 196140 Россия, Санкт-Петербург, Пулковское ш., 65/1 [↑](#footnote-ref-2)
3. Санкт-Петербургский Университет Аэрокосмического Приборостроения, Российская Федерация, 190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67   [↑](#footnote-ref-3)
4. Brigham Young University, USA, UT 84602, Provo, Department of Physics and Astronomy, N283 ESC [↑](#footnote-ref-4)
5. Специальная Астрофизическая обсерватория РАН,  Российская Федерация, 369167, Нижний Архыз [↑](#footnote-ref-5)