

10-МИКРОННАЯ ЭМИССИОННАЯ ОСОБЕННОСТЬ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ОЛИВИНА

Д.В. Петров, А.А. Савушкин, Е.А. Жужулина

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

ВВЕДЕНИЕ

Частицы силикатной пыли обнаружены во множестве астрономических объектов, таких как квазары, кометы, а также околозвездные диски, которые окружают молодые звезды. Наиболее распространенными видами космической пыли являются соединения кремния, железа, магния, кислорода и углерода. Наличие силикатов в околозвездных дисках проявляется в виде набора спектральных особенностей. Наиболее заметная спектральная особенность состоит в увеличении интенсивности излучения в диапазоне длин волн 8-12 мкм и потому именуется называют 10-микронной эмиссионной особенностью. Физическая причина этой особенности состоит в наличии у силикатов колебательных энергетических уровней связей Si-O.

Основной вклад в формирование 10-микронной эмиссионной особенности вносит оливин (Hanner et al., 1997). В частности, в ходе лабораторных экспериментов с использованием спектрометра среднего ИК диапазона, были исследованы спектры больших (размером до 0.5 мм) частиц оливина неправильной формы в поисках 10-микронной эмиссионной особенности. Эта особенность была экспериментально обнаружена (Chornaya et al., 2020), хотя расчеты, проводимые в предположении о сферичности рассеивающих частиц, показали, что столь большие частицы проявлять данную особенность не должны. В то же самое время, в работе (Petrov et al., 2020) было изучено влияние несферичности на 10-микронную эмиссионную особенность кварца. Было показано, что несферичность рассеивающих частиц кварца оказывает заметное влияние на 10-микронную эмиссионную особенность. Потому интересно изучить вопрос, как отклонения от сферичности влияют на 10-микронную эмиссионную особенность оливина. Изучению данного вопроса и посвящена эта работа.

МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЙ

Для исследований потребовалось большое количество компьютерных вычислений, для которых была использована наиболее быстрая программа для вычисления рассеивающих свойств сфероидов, разработанная Мищенко (Mishchenko & Travis, 1994). Вычислительный метод основан на методе Т-матриц (Mishchenko et al., 1996) и оптимизирован для частиц, обладающих осью вращения, что упрощает и ускоряет вычисления (Wieland et al., 1997).

В качестве объекта изучения использовались сфероиды (эллипсоиды вращения) с соотношением осей a/b . Здесь b – размер частицы вдоль оси вращения, a – размер оси, перпендикулярной оси вращения. Следовательно, при $a/b < 1$ получается сфероид, вытянутый вдоль оси вращения, при $a/b > 1$ получается сфероид, сплюснутый вдоль оси вращения, при $a/b = 1$ получается сферическая частица (см. рис.1). В данной работе были изучены частицы с соотношением осей $a/b = 0.8$, $a/b = 1.0$ и $a/b = 1.2$.

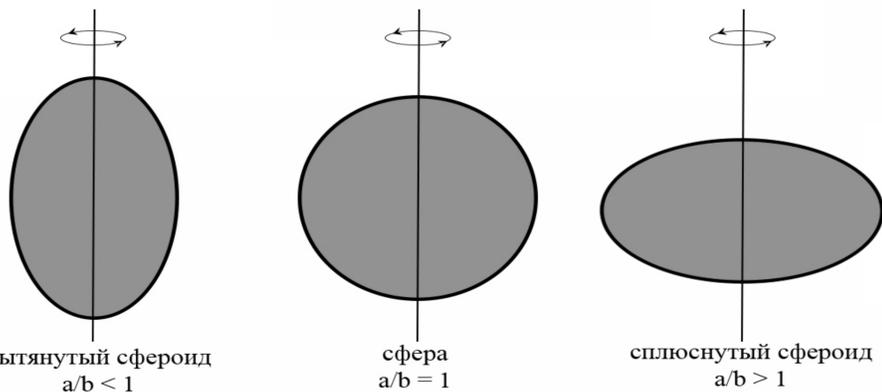


Рисунок 1. Примеры изучаемых частиц. Вытянутый сфероид, сфера, сплюснутый сфероид.

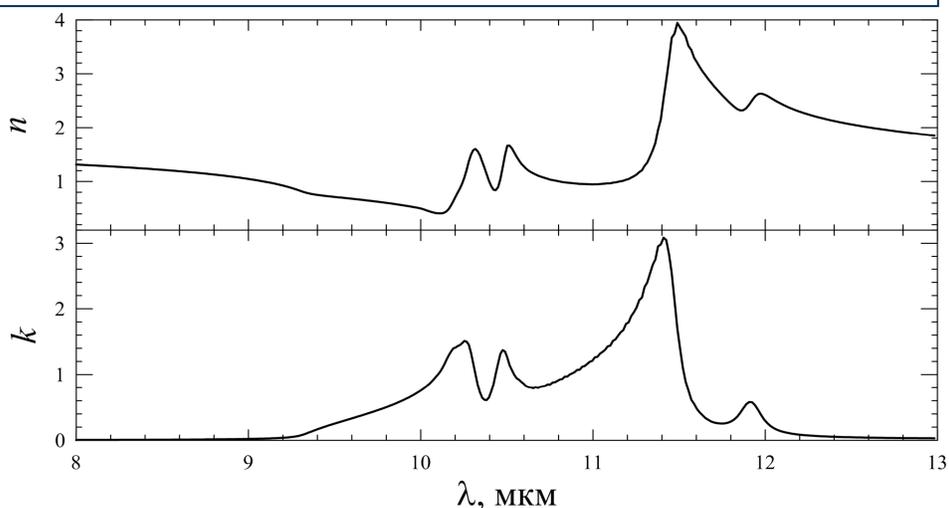


Рисунок 2. Спектральная зависимость действительной (верхняя панель) и мнимой (нижняя панель) частей показателя преломления оливина

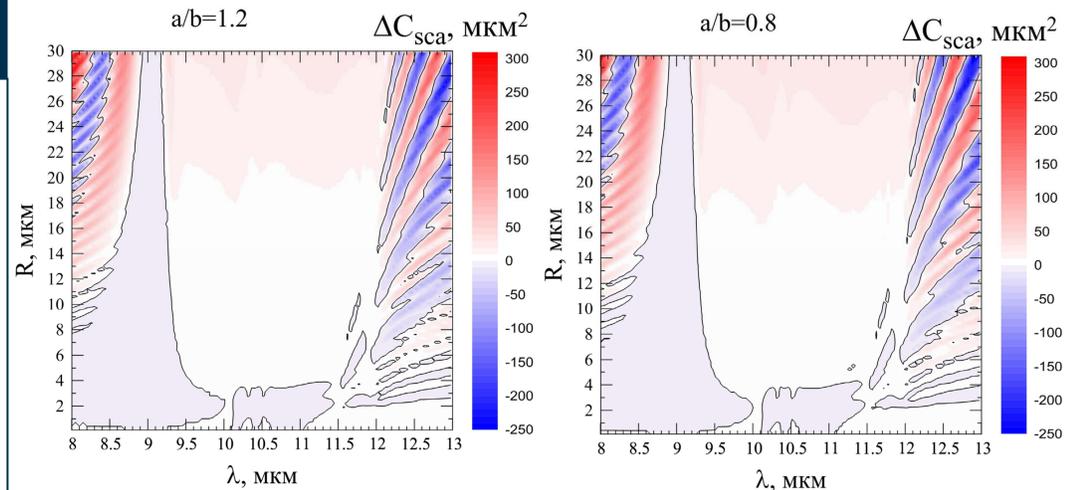


Рисунок 3. Карта разности сечения рассеяния C_{sca} несферической ($a/b=1.2$ для левой панели и $a/b=0.8$ для правой панели) и сферической частицы в зависимости от размера (вертикальная шкала) и длины волны (горизонтальная шкала).

Следует также отметить, что положение эмиссионной спектральной особенности сильно зависит от размера частицы R . В случае сферы под размером частицы подразумевается радиус сферы, а в случае вытянутого и сплюснутого сфероидов – радиус сферы эквивалентного объема.

Основным параметром, определяющим свойства спектрально-эмиссионной особенности, является комплексный показатель преломления $m = n + i \cdot k$. Спектральная зависимость действительной и мнимой частей показателя преломления оливина (см. рис.2) взята из работы (Fabian et al., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из важнейших характеристик рассеяния света является сечение рассеяния C_{sca} . Эта физическая величина показывает, насколько эффективно перерассеивает свет рассеивающий объект. Мы рассчитали C_{sca} света, рассеянного на вытянутых и сплюснутых частицах оливина, для разных длин волн и размеров рассеивающей частицы.

Рис.3 демонстрирует карту разности сечений рассеяния C_{sca} несферической ($a/b=1.2$ для левой панели и $a/b=0.8$ для правой панели) и сферической частицы $\Delta C_{sca} = C_{sca}(nonsph) - C_{sca}(sph)$ в зависимости от размера (вертикальная шкала) и длины волны (горизонтальная шкала).

Из рисунка видно, что в спектральном диапазоне от 9 до 12 мкм при достаточно больших размерах рассеивающих частиц (выше 20 мкм) проявляется заметное повышение сечения рассеяния C_{sca} несферических частиц по сравнению со сферами. Таким образом, наблюдаемую 10-микронную эмиссионную особенность больших частиц можно объяснить несферичностью рассеивающих частиц.

ВЫВОДЫ

В данной работе было изучено влияние отклонения от сферической формы рассеивающих частиц оливина на формирование 10-микронной эмиссионной особенности. Показано, что несферические частицы достаточно больших размеров вызывают повышение интенсивности рассеянного света в спектральном диапазоне от 9 до 12 мкм. Таким образом, наблюдаемая 10-микронная эмиссионная особенность больших частиц оливина, которая не находит объяснения в рамках предположения о сферичности рассеивателя, может быть объяснена несферичностью рассеивающих частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Петров Д.В., Жужулина Е.А., Савушкин А.А. Влияние формы рассеивающих частиц на силикатную особенность SiO₂_2S // Известия Крымской Астрофизической Обсерватории. -- 2020. Т. 116, вып. 2. -- С. 41-48.
- Chornaya E., Zakharenko A.M., Zubko E.S. et al. Revisiting the particle-size constraint of the 10- μ m silicate feature // Icarus. - 2020. - vol. 350. - article id. 113907.
- Fabian D., Henning T., Jager C. et al. Steps toward interstellar silicate mineralogy. VI. Dependence of crystalline olivine IR spectra on iron content and particle shape // A&A -- 2001. -- vol. 378. -- P. 228-238.
- Hanner M.S., Gehrz R.D., Harker D.E. et al. Thermal Emission From The Dust Coma Of Comet Hale-Bopp And The Composition Of The Silicate Grains // Earth Moon and Planets -- 1997. -- vol. 79, iss. 1. -- P. 247-264.
- Mishchenko M.I. & Travis L.D. T-matrix computations of light scattering by large spheroidal particles // Opt. Commun. -- 1994. -- vol. 109. -- P. 16-21.
- Mishchenko M. I., Travis L.D., Mackowski D.W. T-matrix computations of light scattering by nonspherical particles: a review // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer -- 1996. -- vol. 55. -- P. 535-575.
- Wieland D.J., Mishchenko M.I., Macke A. et al. Improved T-matrix computations for large, nonabsorbing and weakly absorbing nonspherical particles and comparison with geometrical-optics approximation // Appl. Opt. -- 1997. -- vol. 36. -- P. 4305-4313.