

Инфракрасные области поглощения межзвездной пыли

Артамонов Алексей

11 мая 2013 г.

1 Введение

Химический состав межзвездных пылинок может быть определен путем изучения инфракрасных полос, наблюдаемых в спектрах звезд и протозвездных объектов. При этом исследуют профили полос и поляризацию в них. Инфракрасные полосы несут также информацию о размере, структуре и форме пылинок.

Оптическая толщина в полосе и поляризация в ней определяются свойствами пылинок, их лучевой концентрации N_d , а так же степенью и направлением их ориентации. Для неполяризованного падающего излучения они равны:

$$\tau(\lambda) = N_d(r) \frac{1}{2} [C_{ext}^{TM}(m_{\lambda, 2\pi r_V/\lambda, \alpha}) + C_{ext}^{TE}(m_{\lambda, 2\pi r_V/\lambda, \alpha})],$$

$$P(\lambda) = N_d(r) \frac{1}{2} [C_{ext}^{TM}(m_{\lambda, 2\pi r_V/\lambda, \alpha}) - C_{ext}^{TE}(m_{\lambda, 2\pi r_V/\lambda, \alpha})].$$

Здесь r_V — характерный размер несферической пылинки (ее объем равен объему шара с радиусом r_V), $C_{ext}^{TM, TE} = C_{abs}^{TM, TE} + C_{sca}^{TM, TE}$ — фактор эффективности ослабления для двух случаев поляризации падающего излучения, α — угол падения излучения (для сфероидов угол между волновым вектором и осью вращения частицы $0^\circ \geq \alpha \geq 90^\circ$), $m_\lambda = n - ki$ — комплексный показатель преломления вещества пылинки.

Итого сделано:

1. Проведены расчеты нормированных зависимостей $\tau\lambda/\tau(3\mu m)$ и $P(\lambda)/\tau(\lambda)$ в диапазоне длин волн $3 - 25 \mu m$, включающим в себя ледяную ($3\mu m$) и силикатные полосы астрономического силиката. При этом использовались данные:

Показатели преломления для льда и силикатов (База JPDOС: astro.spbu.ru/JPDOС);

Квазистатистическое приближение для сфероидальных частиц с оболочкой (вернее ее представление), описанное формулами в главе 'Рабочие формулы'

Были рассмотрены вытянутые частицы с разными отношениями полуосей и разными размерами.

2 Рабочие формулы и константы

Ряд формул с помощью которых производились вычисления

λ — длина волны излучения

d — фокусное расстояние сфероида

$c = 2\pi/\lambda$ — размерный параметр

a_{ice}, b_{ice} — большая и малая полуось льдинки

a_{sil}, b_{sil} — большая и малая полуось силиката

α — угол между осью вращения и волновым вектором приходящего излучения

m — коэффициент преломления ($\varepsilon = m^2$)

Q_{ext} — ослабление света

Q_{abs} — истинное поглощение света

Q_{sca} — рассеивание света

\tilde{a}_j — степень поляризации

$f = 1?prolate : -1$

$\tilde{f} = V_{core}/V_{total}$ — отношение объемов силикатного ядра к объему всей частицы

$$prolate \quad \xi_0 = \left(\frac{a}{b}\right)^2 \left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1\right]^{-\frac{1}{2}}, \quad \frac{2\pi a}{\lambda} = \left(\frac{a}{b}\right)^2, \quad r_V^3 = a^2 b \quad (1)$$

$$oblate \quad \xi_0 = \left[\left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1\right]^{-\frac{1}{2}}, \quad \frac{2\pi a}{\lambda} = \left(\frac{a}{b}\right)^2, \quad r_V^3 = ab^2 \quad (2)$$

$$Q_{ext}^{TM,TE} \left(m, c, \frac{a}{b}, \alpha\right) = Q_{abs}^{TM,TE} \left(m, c, \frac{a}{b}, \alpha\right) + Q_{sca}^{TM,TE} \left(m, c, \frac{a}{b}, \alpha\right) \quad (3)$$

$$Q_{abs}^{TE} = (Q_{abs}^{TE})_{Rayleigh} = \frac{4}{3} c \xi_0 \left(\frac{\xi_0^2 - f}{\xi_0^2 - f \cos^2 \alpha}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{Im(\varepsilon)}{|L_1(\varepsilon - 1) + 1|^2} \quad (4)$$

$$Q_{abs}^{TE} = (Q_{abs}^{TE})_{Rayleigh} = \frac{4}{3} c \xi_0 \left(\frac{\xi_0^2 - f}{\xi_0^2 - f \cos^2(\alpha)}\right)^{\frac{1}{2}} Im(\varepsilon) \left(\frac{\sin^2 \alpha}{|L_3(\varepsilon - 1) + 1|^2} + \frac{\cos^2 \alpha}{|L_1(\varepsilon - 1) + 1|^2}\right) \quad (5)$$

$$Q_{sca}^{TE} = \frac{c^4 \xi_0^2 (\xi_0^2 - f)^{\frac{3}{2}}}{9\pi (\xi_0^2 - f \cos^2 \alpha)^{\frac{1}{2}}} |\tilde{a}_1|^2 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi (\cos^2 \varphi + \cos^2 \theta \sin^2 \varphi) G^2(u) \sin \theta d\theta d\varphi \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Q_{sca}^{TE} = & \frac{c^4 \xi_0^2 (\xi_0^2 - f)^{\frac{3}{2}}}{9\pi (\xi_0^2 - f \cos^2 \alpha)^{\frac{1}{2}}} \times \\ & \left[|\tilde{a}_1|^2 \cos^2 \alpha \int_0^{2\pi} \int_0^\pi (\cos^2 \varphi + \cos^2 \theta \sin^2 \varphi) G^2(u) \sin \theta d\theta d\varphi + \right. \\ & |\tilde{a}_3|^2 \sin^2 \alpha \int_0^{2\pi} \int_0^\pi G^2(u) \sin^3 \theta d\theta d\varphi + \\ & \left. 2Re(\tilde{a}_3 \tilde{a}_1^*) \sin \alpha \cos \alpha \int_0^{2\pi} \int_0^\pi G^2(u) \cos \theta \sin^2 \theta \cos \varphi d\theta d\varphi \right] \quad (7) \end{aligned}$$

$$G(u) = \frac{3}{u^3}(\sin u - u \cos u) \quad (8)$$

$$\text{prolate } u = c\xi_0 \sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)^2 + \left(\frac{a}{b}\right)^{-2} (\sin^2 \theta + \sin^2 \alpha - 2 \sin \theta \sin \alpha \cos \varphi)} \quad (9)$$

$$\text{oblate } u = c\xi_0 \sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)^2 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 (\sin^2 \theta + \sin^2 \alpha - 2 \sin \theta \sin \alpha \cos \varphi)} \quad (10)$$

$$\tilde{a}_j = \frac{\varepsilon - 1}{L_j(\varepsilon - 1) + 1}, \quad L_1 = \frac{1 - L_3}{2} \quad (11)$$

$$\text{prolate } L_3 = \frac{1 - e^2}{e^2} \left(\frac{1}{2e} \ln \frac{1+e}{1-e} - 1 \right), \quad e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} \quad (12)$$

$$\text{oblate } L_3 = \frac{1 - e'^2}{e'^2} \left(1 - \frac{1}{2e'} \arctan e' \right), \quad e' = \sqrt{\frac{a^2}{b^2} - 1} \quad (13)$$

$$\tilde{a}_j = \frac{(\varepsilon_2 - 1)[\varepsilon_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(L_j^1 - \tilde{f}L_j^2)] + \tilde{f}\varepsilon_2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{[\varepsilon_2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(L_j^1 - \tilde{f}L_j^2)][1 + (\varepsilon_2 - 1)L_j^2] + \tilde{f}L_j^2\varepsilon_2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} \quad (14)$$

3 Случай вытянутых частиц

Результат для разных отношений полуосей, и для различных углов падения излучения, по отношению к оси вращения частицы, представлен в графическом виде.

Все исходные коды и данные, которые использовались при вычислениях, вы можете найти по ссылке <https://github.com/aleksartamonov/infrared>

Список литературы

- [1] Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами *Мир. М.*, 1983.
- [2] Вошинников Н.В. Межзвездная пыль *Итоги науки и техники, Иссл. косм. пространства*, Т.25, С.98, 1986.
- [3] Фарафонов В.Г. Рассеяние света сфероидальными частицами в квазистатическом приближении *Оптика и спектроскопия*, Т.66, С.455, 1994.
- [4] Draine *Astrophys.J.Suppl.* 57, 587, 1985
- [5] Hudgins et. al., Mid and Far infrared spectroscopy of ices *Astrophys.J.Suppl.* 86:713-870, 1993
June

$$a_{ice} = 1\mu m, b_{ice} = 0.7\mu m, a_{sil} = 0.1\mu m, b_{sil} = 0.07\mu m$$

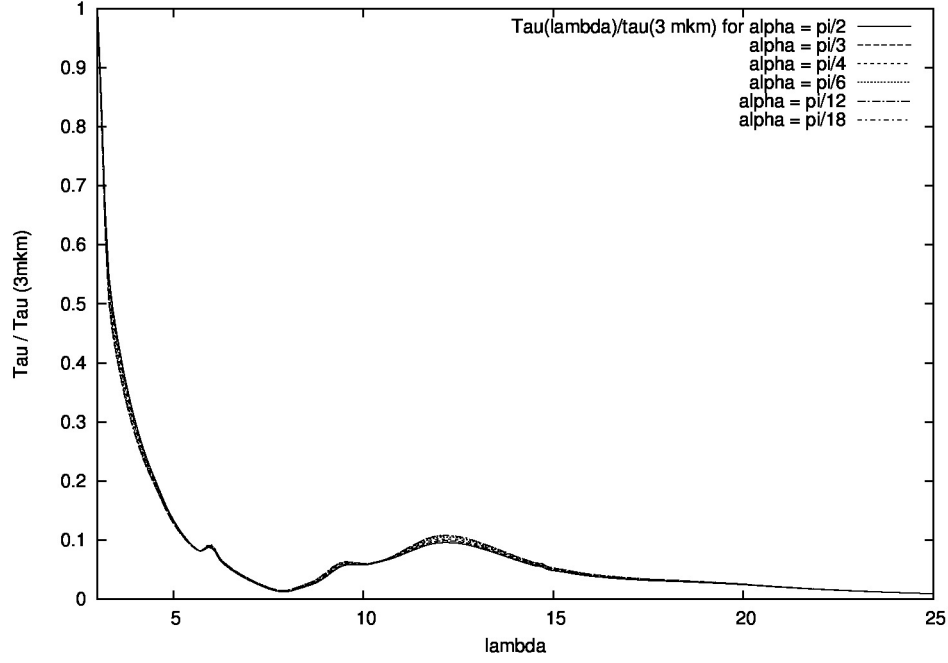


Рис. 1: $\tau(\lambda)/\tau(3\mu m)$

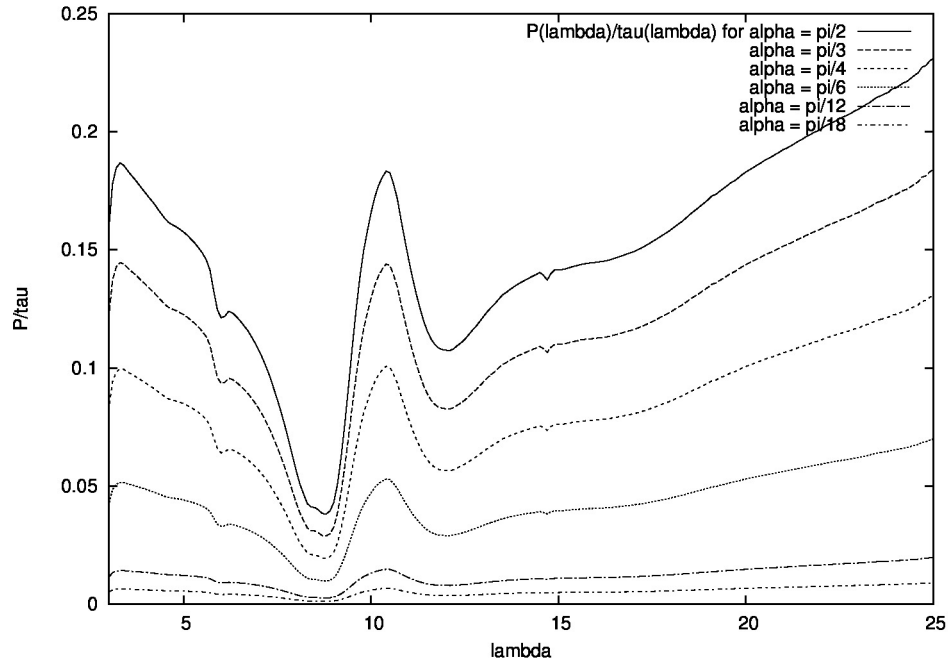


Рис. 2: $P(\lambda)/\tau(\lambda)$

$$a_{ice} = 1\mu m, b_{ice} = 0.3\mu m, a_{sil} = 0.1\mu m, b_{sil} = 0.03\mu m$$

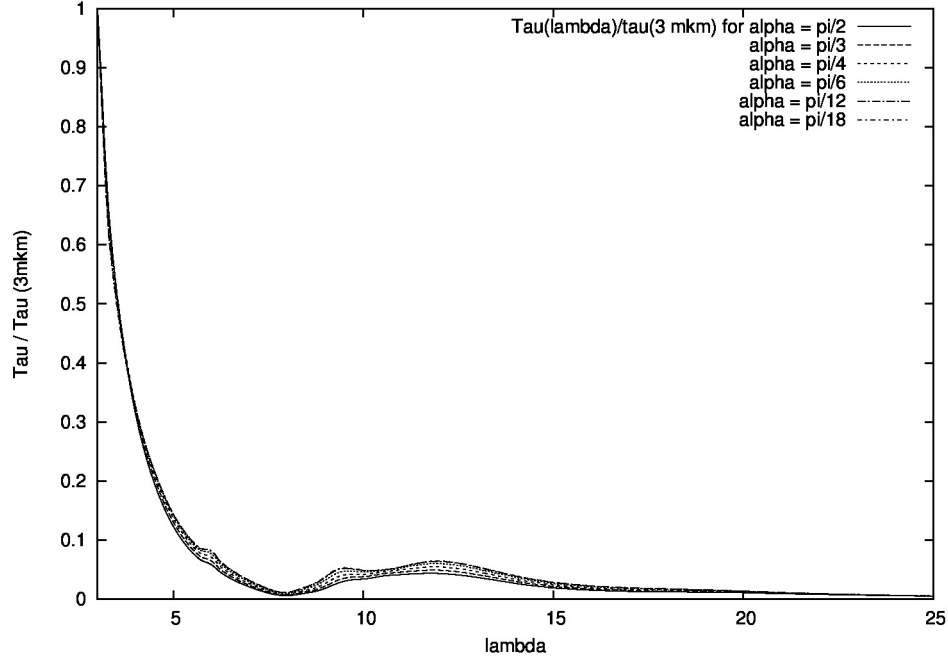


Рис. 3: $\tau(\lambda)/\tau(3\mu m)$

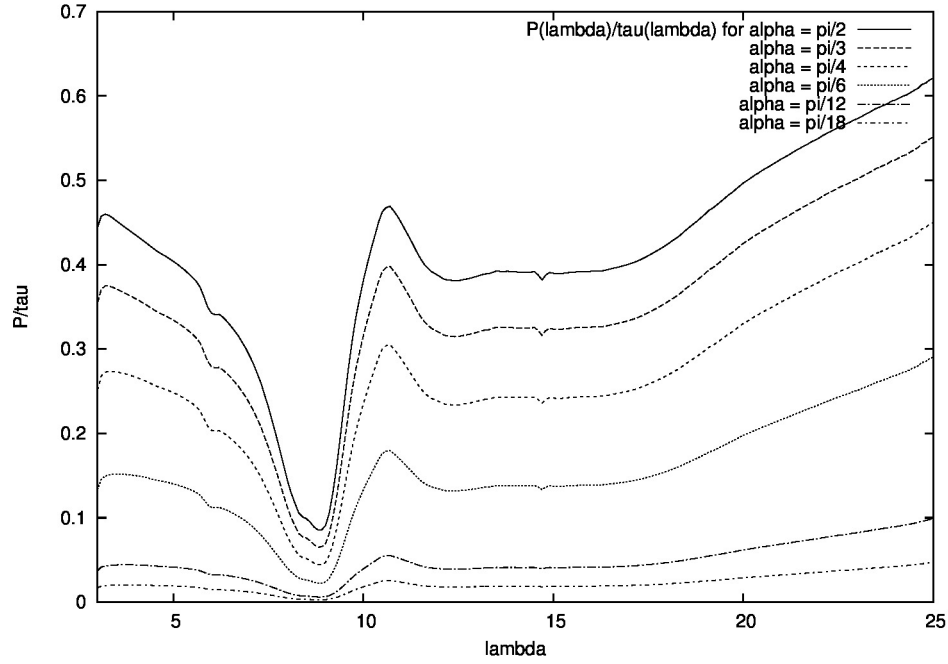


Рис. 4: $P(\lambda)/\tau(\lambda)$

$$a_{ice} = 3\mu m, b_{ice} = 0.1\mu m, a_{sil} = 0.3\mu m, b_{sil} = 0.01\mu m$$

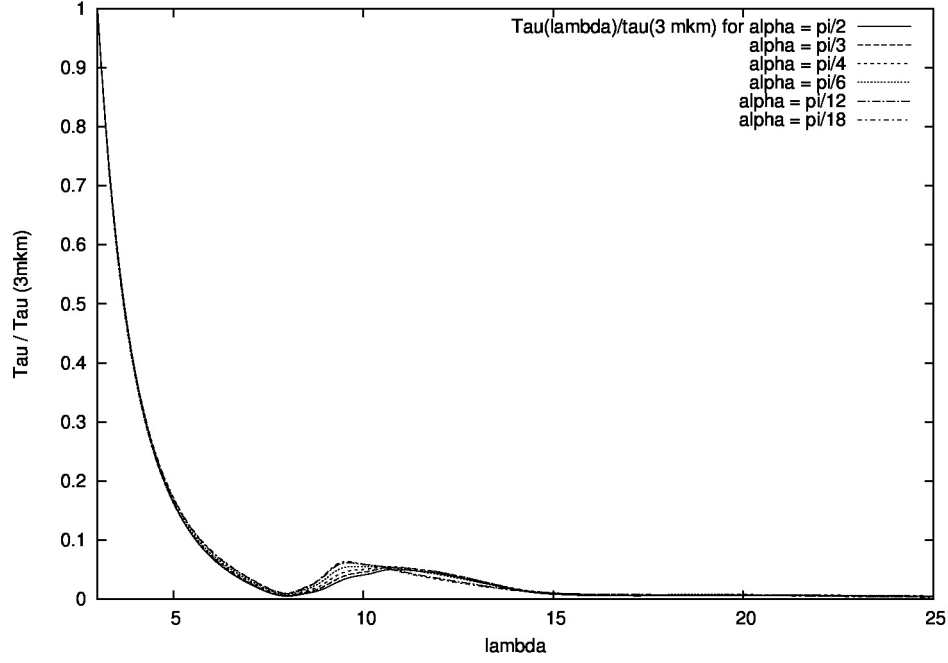


Рис. 5: $\tau(\lambda)/\tau(3\mu m)$

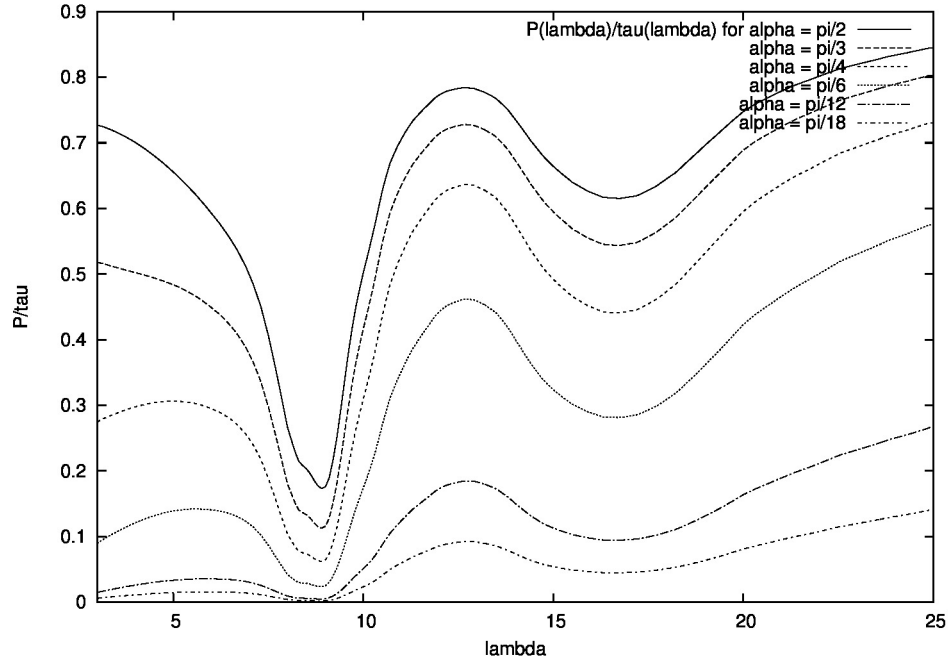


Рис. 6: $P(\lambda)/\tau(\lambda)$