

1. イントロ

Trumpler 1930: 赤化の発見——> 星間ダストの実証

現在一般的に受け入れられている成分

成分

シリケート: 9.7 μ 吸収 <—— Si-O 伸縮モード 18 μ <—— Si-O-Si 屈伸モード

Si, Fe, Mg が星間物質中で欠乏

炭素質: 2200Åコブ、シリケートだけでは不足

サイズ

(1) $a > 0.025\mu$ 可視域の減光を担う

(2) $a < 0.025\mu$ 真空紫外の減光 サイズ分布の形ははっきりしない。

$\lambda > 0.1\mu$ でレーリー領域で大きさ無関係
総量にのみ制限がかかる。

Platt 1956: $a < 10\text{Å}$ のダストまたは巨大分子モデルを提案

Donn 1968: PAH的なPlatt粒子がUV減光の原因

Greenberg 1968 VSG (Very Small Grains)は高温になる。

Sellgren, Werner, Dinerstein 1983: 反射星雲のNIRはVSGから。

Boulanger, Perault 1988: SIRRUS (12, 25 μ)もVSGから

Arendt et al 1998: DIRBEで3.5, 4.9 μ に幅広いバンドあり。

Onaka et al 1996: 3.3, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3 μ 星間バンド

——> PAH

2. 光学的性質

2.1. シリケート

ϵ (DL84)に2点変更——>K-Kから $\text{Re}(\epsilon)$ を計算し直した。

(1) FUVで $\text{Im}(\epsilon)$ が急上昇していたのを改めた。

(2) ϵ ($\lambda > 250\mu$)も以下のように変更して高銀緯拡散放射データに合わせた。

$$\epsilon_2(\lambda) = \epsilon_2^{\text{DL}}(\lambda) \times \begin{cases} \left[1 + \beta \frac{\ln(\lambda/250 \mu\text{m}) \times \ln(\lambda/850 \mu\text{m})}{\ln(850/250)} \right], & 250 \leq \lambda \leq 850 \mu\text{m}, \\ (\lambda/850 \mu\text{m})^\beta, & 850 \leq \lambda \leq 10^4 \mu\text{m}, \\ (10^4/850)^\beta, & \lambda \geq 10^4 \mu\text{m}, \end{cases} \quad (1)$$

ここに $\beta = 0.4$ 、 $\epsilon_2^{\text{DL}} = \text{Im}(\epsilon ;)$

変更の結果

(1) $\lambda < 250\mu$ では変化なし

(2) $250\mu < \lambda < 1100\mu$ $Im(\epsilon) = 1.12 \cdot Im(\epsilon; DL84)$

(3) $4.8\text{mm} < \lambda$ でやっとなシリケート放射率が2倍変わる。

(4) $C_{abs} \propto \lambda^{-2.0} (100\mu < \lambda) \longrightarrow C_{abs} \propto \lambda^{-1.6} (800\mu < \lambda < 1\text{cm})$

$$\kappa(1\text{cm}) = C_{abs} / (4\pi \rho a^3/3) = 0.33\text{cm}^2/\text{g}$$

Agladze et al 1996 非晶質 $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ $C_{abs} \propto \lambda^{-1.6} (700\mu < \lambda < 2500\mu)$

$$\kappa(1\text{cm}) = 1.25\text{cm}^2/\text{g} \text{ で高いのがちょっと問題}$$

2. 2. 炭素質グレイン

グラファイト的 ($a > 50\text{A}$) から PAH 的 ($a < 20\text{A}$) へは連続的に移行と仮定する。

$C_{abs}(\text{グラファイト}) < \text{---} (1/3 - 2/3)$ 近似 Draine, Malhotra 1993) + ϵ (DL84)

$C_{abs}(\text{PAH}) < \text{---}$ 以下論ずる。

$C_{abs}(\text{中間}) C(a, \lambda) = \xi \cdot C^{\text{PAH}}(a, \lambda) + (1 - \xi) C^{\text{GRA}}(a, \lambda)$

$$\xi = (1 - q) \cdot \text{Min}[1, (\eta/a)^3] \quad \eta = 50\text{A}, \quad q = 0.01$$

(η/a)³ でなぜわざわざ3乗にするのか?

この数値だと $a < 50\text{A}$ では、 $\xi = 0.99$ $a > 50\text{A}$ では、 $\xi = 0.99(50\text{A}/a)^3$

2. 3. PAHの吸収断面積

遷移	H/C	0.5	$N_c \leq 25$
		$0.5 / \text{SQRT}(N_c/25)$	$25 < N_c < 100$
		0.25	$N_c \geq 100$
	$\sigma - \sigma^*$		$\lambda^{-1} = 14\mu^{-1}$
	$\pi - \pi^*$		$\lambda^{-1} = 4.6\mu^{-1}$
	C-H伸縮		$\lambda = 3.3\mu$
	C-C伸縮		$\lambda = 6.2\mu, 7.7\mu$
	C-H 面内屈伸		$\lambda = 8.6\mu$
	C-H 面外屈伸		$\lambda = 11.3, 11.9, 12.7\mu$

断面積C $x = (\lambda / \mu\text{m})^{-1}$ として、

$$C^{\text{PAH}} / N_c = C^{\text{PAH}} / N_c \quad x > 17.25$$

$$= (126.0 - 6.4943x) \cdot 10^{-18} \text{cm}^2 / C \quad 15 < x < 17.25$$

$$= S_1(\lambda) + (-3.0 + 1.35x) \cdot 10^{-18} \text{cm}^2 / C \quad 10 < x < 15$$

$$= (66.302 - 24.367x + 2.950x^2 - 0.1057x^3) \cdot 10^{-18} \text{cm}^2 / C \quad 7.7 < x < 10$$

$$= S_2(\lambda) + [1.8687 + 0.1905x + 0.4157(x - 5.9)^2$$

$$+ 0.0437(x - 5.9)^3] \cdot 10^{-18} \text{cm}^2 / C \quad 5.9 < x < 7.7$$

$$= S_2(\lambda) + [1.8687 + 0.1905x] \cdot 10^{-18} \text{cm}^2 / C \quad 3.3 < x < 5.9$$

$$= 34.58 \cdot 10^{-18 - 3.431/x} \text{Cutoff}(\lambda, \lambda_c) \text{cm}^2 / C + \sum_{j=3}^{14} S_j(\lambda) \quad x < 3.3$$

ここで、ドルーデモデルで表わされる吸収モードは

$j=1$ $\sigma - \sigma^*$	$j=2$ $\pi - \pi^*$	$j=3$ C-H伸縮
$j=4, 5$ C-C伸縮	$j=6$ C-H面内屈伸	$j=7, 8, 9$ C-H面内屈伸
$j=10, 11, 12, 13$ C-C屈伸	$j=14$ FIR	

$$S_j(\lambda) \equiv \frac{2}{\pi} \frac{\gamma_j \lambda_j \sigma_{\text{int},j}}{(\lambda/\lambda_j - \lambda_j/\lambda)^2 + \gamma_j^2}$$

j	λ_j (μm)	λ_j^{-1} (cm^{-1})	γ_j	FWHM		$\sigma_{\text{int},j} \equiv \int S_j(\lambda)d\lambda^{-1}$	
				$\gamma_j \lambda_j$ (μm)	$\gamma_j \lambda_j^{-1}$ (cm^{-1})	Neutral ($10^{-20} \text{ cm C}^{-1}$)	Ionized ($10^{-20} \text{ cm C}^{-1}$)
1	.0722	138500	0.195	.0141	27000	7.97×10^7	7.97×10^7
2	.2175	46000	0.217	.0473	10000	1.23×10^7	1.23×10^7
3	3.3	3030	0.012	0.04	37	$197 \times \text{H/C}$	$44.7 \times \text{H/C}$
4 ^a	6.2	1610	0.032	0.20	52	$19.6 \times E_{6.2}$	$157 \times E_{6.2}$
5 ^a	7.7	1300	0.091	0.70	118	$60.9 \times E_{7.7}$	$548 \times E_{7.7}$
6 ^a	8.6	1161	0.047	0.40	54	$34.7 \times E_{8.6} \times \text{H/C}$	$242 \times E_{8.6} \times \text{H/C}$
7 ^b	11.3	886	0.018	0.20	16	$427 \times (1/3)\text{H/C}$	$400 \times (1/3)\text{H/C}$
8 ^b	11.9	840	0.025	0.30	21	$72.7 \times (1/3)\text{H/C}$	$61.4 \times (1/3)\text{H/C}$
9 ^b	12.7	787	0.024	0.30	19	$167 \times (1/3)\text{H/C}$	$149 \times (1/3)\text{H/C}$
10 ^c	16.4	610	0.010	0.16	6	5.52	5.52
11 ^d	18.3	546	0.036	0.66	20	6.04	6.04
12 ^d	21.2	472	0.038	0.81	18	10.8	10.8
13 ^d	23.1	433	0.046	1.07	20	2.78	2.78
14 ^e	26.0	385	0.69	18.0	266	15.2	15.2

表1 PAHの14吸収振動子パラメター 2200Å吸収も振動子(j=2)に含めている

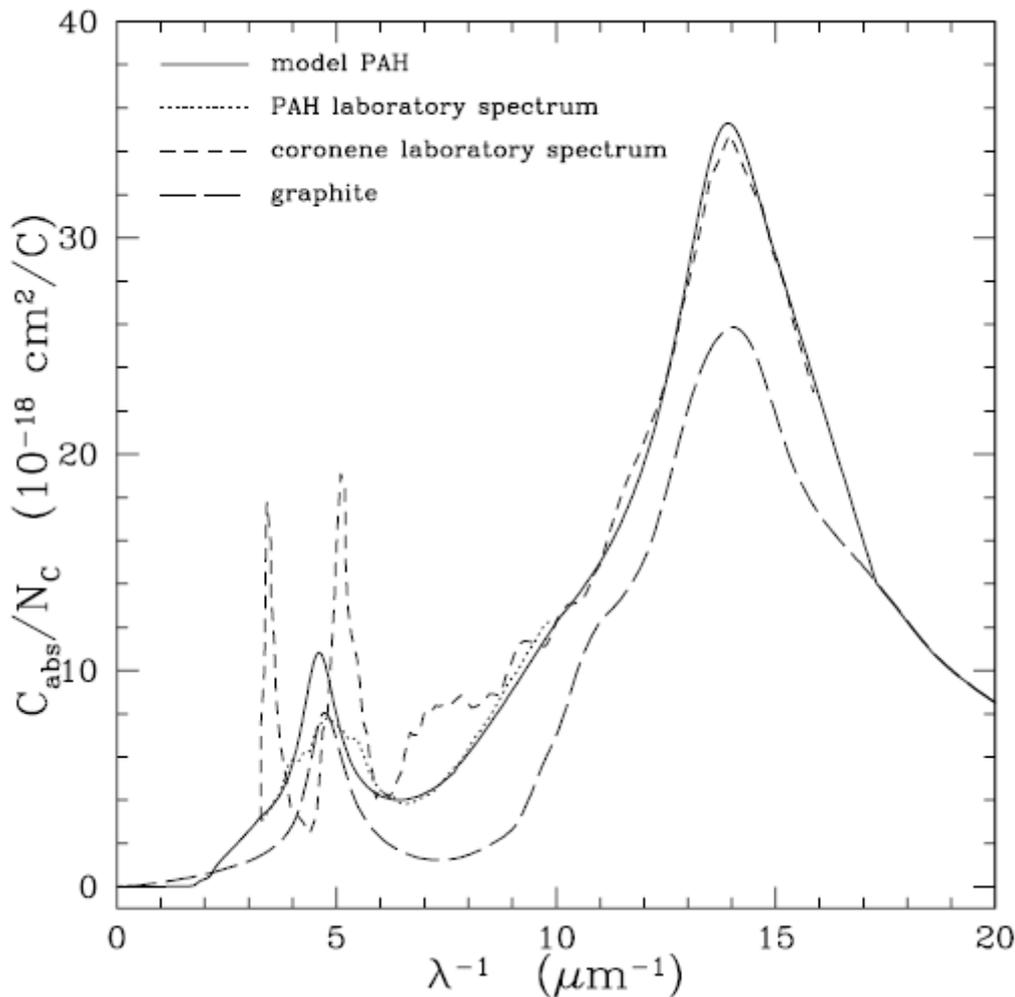


図1 PAHのC_{abs}/N_c:コロン実験値、PAHミックス、グラファイトモデル

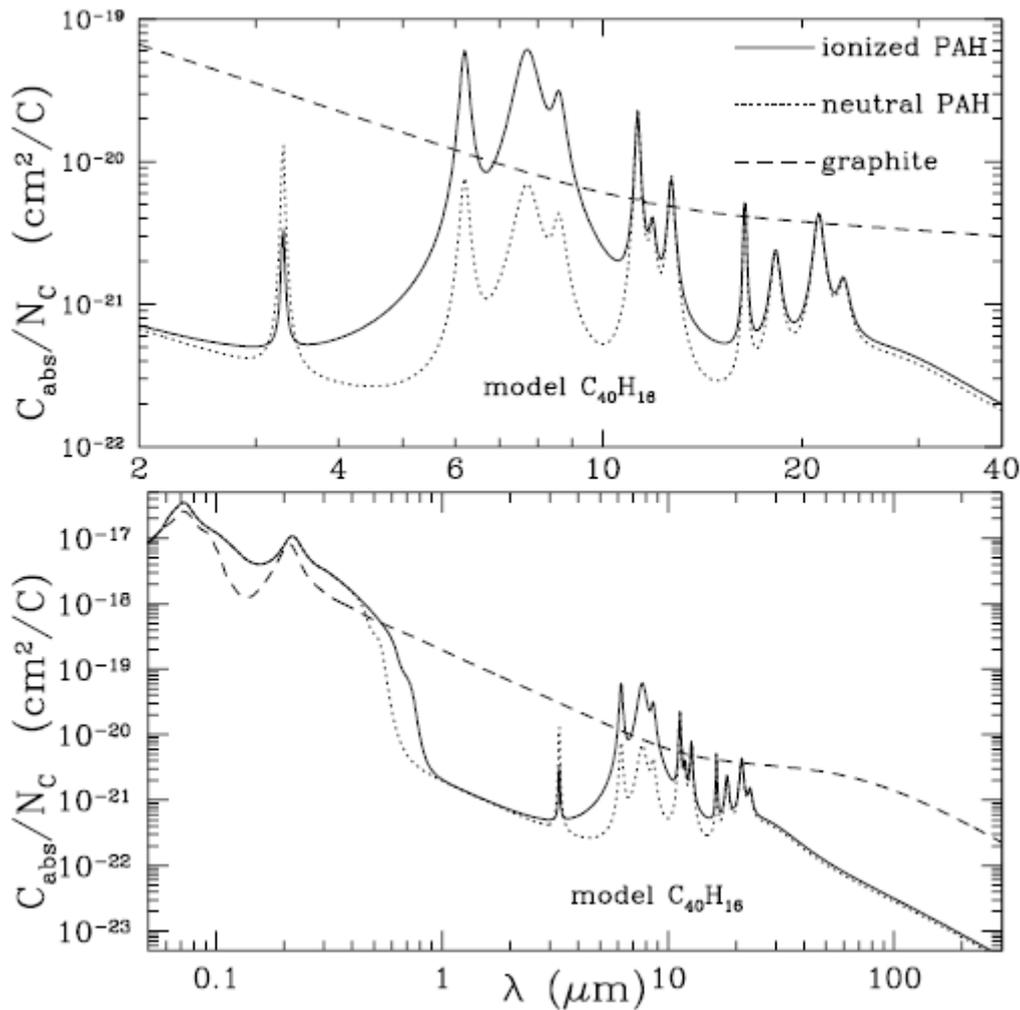


図2 表1によるPAHモデルの C_{abs}/N_c 下の点線はグラファイトモデル

2. 4. PAHの連続吸収

1-5 μ で、3. 3 μ 伸縮バンドの下に存在する連続光を説明するのはグラファイトによる連続吸収が必要。PAHからの連続放射も考えられる。

3. エンタルピー

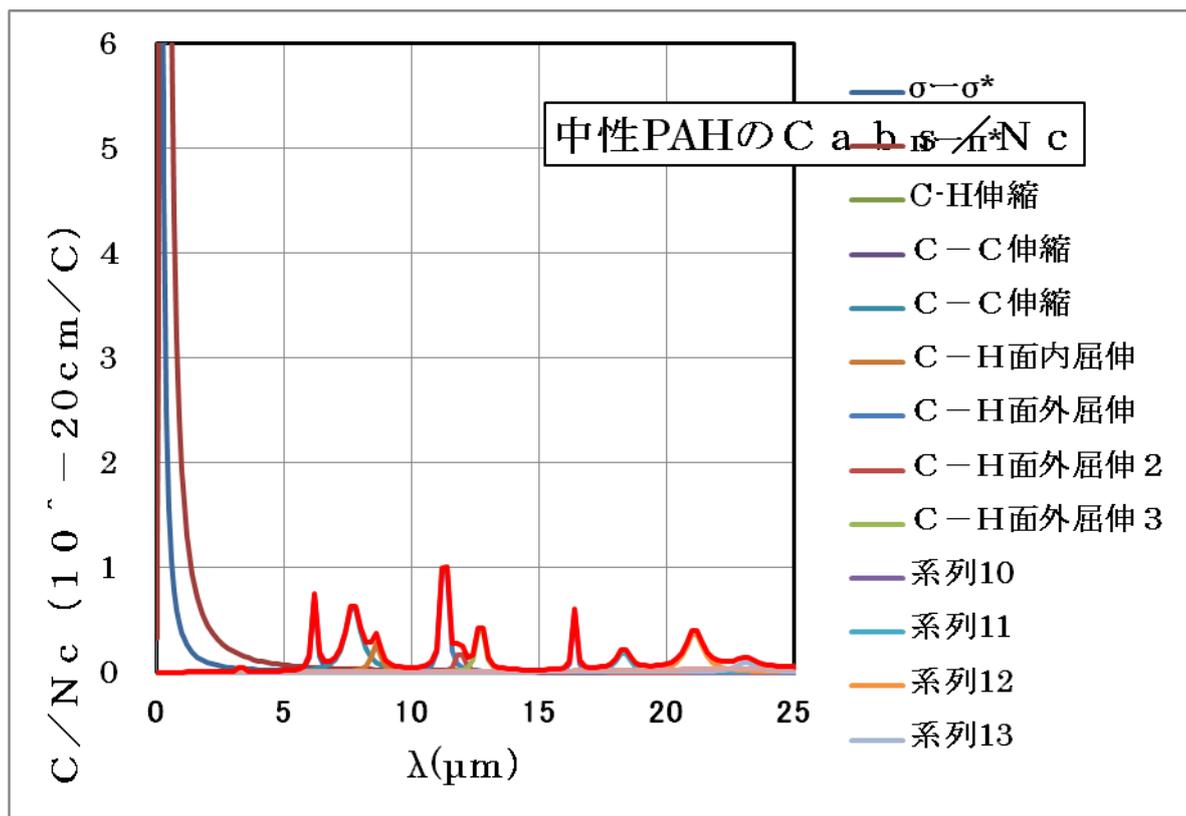
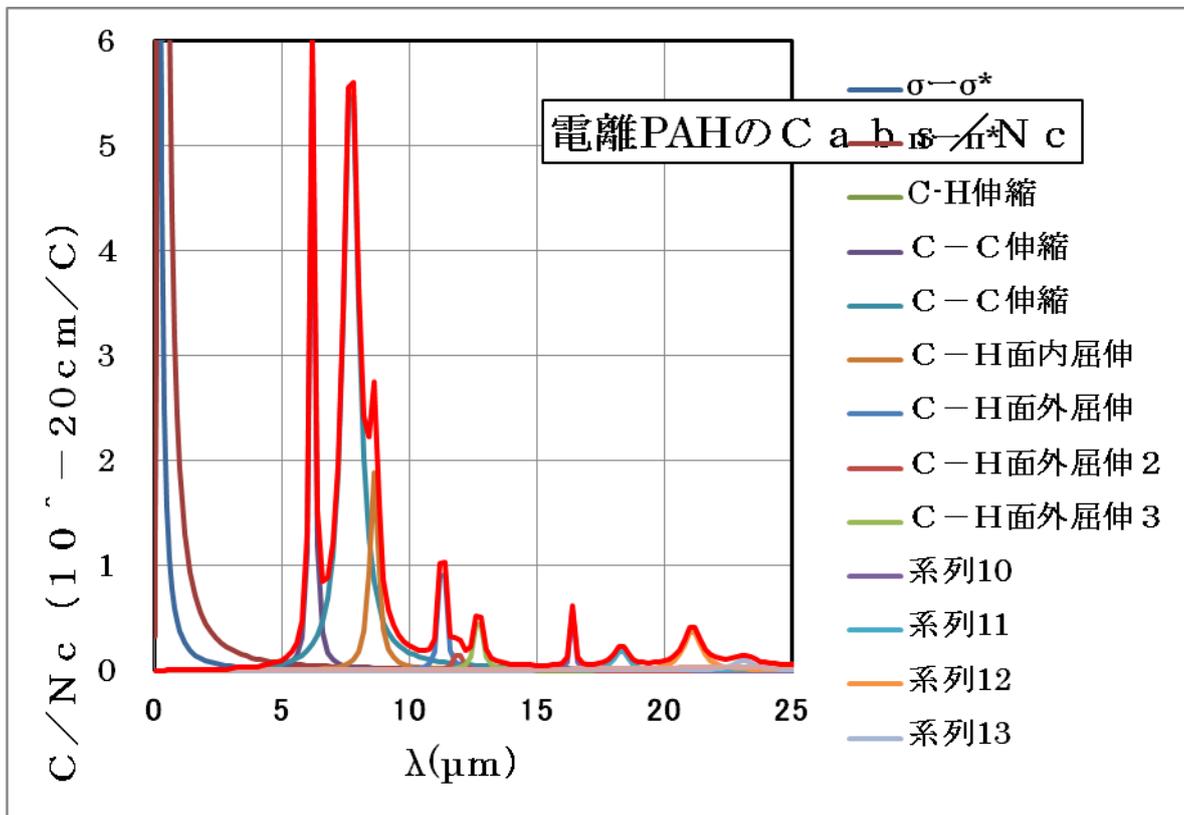
4. 放射場

Mathis, Mezger, Panagia 1983 の太陽近傍星間輻射場を使い、以下の式を採用

$$u_\lambda = \chi_{\text{MMP}} \left\{ u_\lambda^{\text{UV}\odot} + \sum_{i=2}^4 W_i \frac{4\pi}{c} B_\lambda(T_i) \right\} + \frac{4\pi}{c} B_\lambda(2.9 \text{ K})$$

ここに、 $u^{\text{UV}\odot}$ = UV成分、 $(W_2, W_3, W_4) = (10^{-14}, 10^{-13}, 4 \cdot 10^{-14},)$,

$(T_2, T_3, T_4) = (7500, 4000, 3000) \text{ K}$,



0. 大きいダストの熱平衡温度

$$\int C_{\text{abs}} \cdot c \cdot u(\lambda) \cdot d\lambda = \int C_{\text{abs}} \cdot 4\pi \cdot B(T, \lambda) \cdot d\lambda$$

ここに、 u = 輻射エネルギー密度。

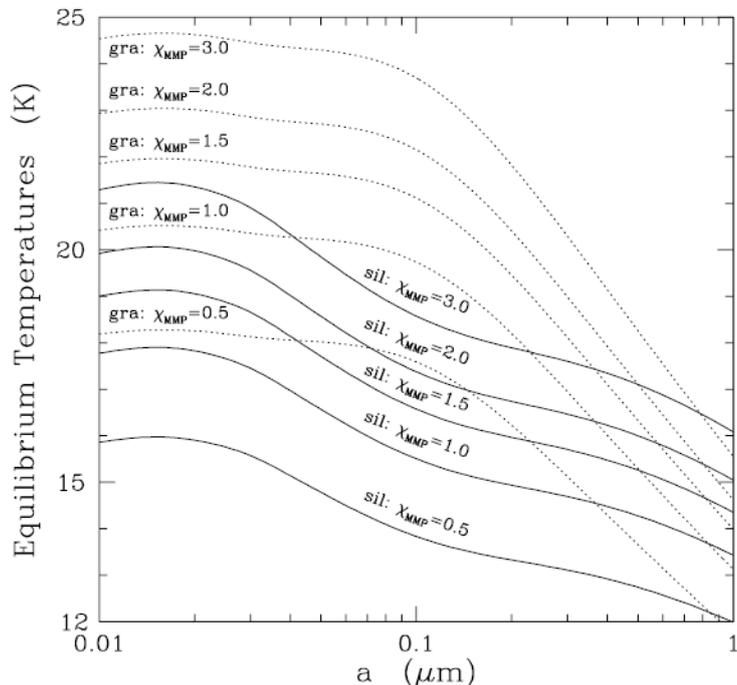


図3 グラファイトとシリケートの粒子半径と温度の関係。 χ = 輻射強度 / 太陽近傍

1. 非常に小さいグレイン (VSG) の温度揺らぎ

Draine, Li 2001 の計算では厳密な統計的手法 (振動の状態密度を扱う) は時間がかかる。より簡単な、‘thermal discrete’, ‘thermal continuous’ 法で結果は一致する。

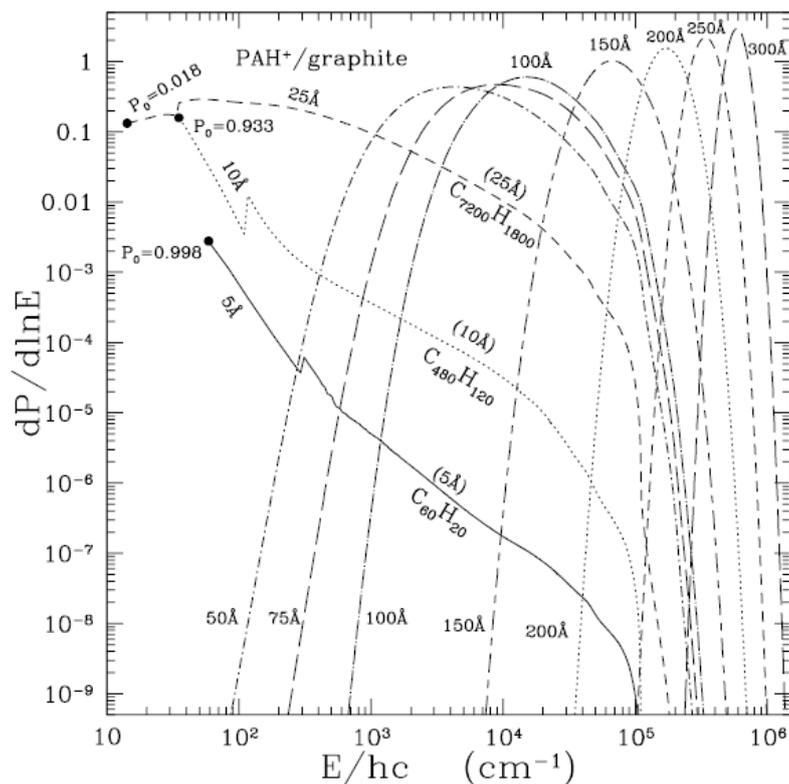


図4 以下は銀河拡散光の話なので中止する。

