
¿Se condensa el CO en el polvo en las nubes moleculares? *AS735 Medio Interestelar*

Viviana Guzmán V.

Departamento de Astronomía
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile

Introducción

- Observaciones en longitudes de onda milimétricas son frecuentemente usadas para mapear la distribución de material molecular en el ISM.
- N(CO) (y por ende N(H₂)) puede ser seriamente subestimada si gran cantidad de CO se encuentra en los granos de polvo.
- EL CO gaseoso presenta una línea rotacional en 2.6 mm .
- El CO sólido presenta una línea en el IR (4.7 μm).

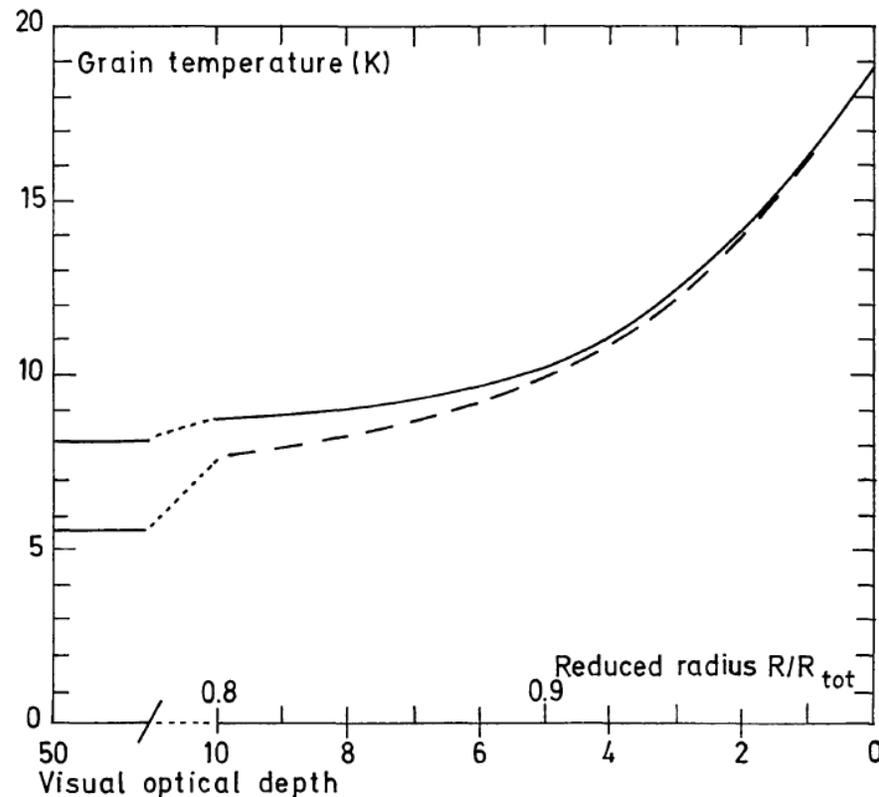
Introducción

- Temperatura de los granos de polvo.
- Coeficiente de adhesión.
- Tiempo de colisión.
- Edad de la nube.
- Presión de vapor saturado.
- Depleción esperada de CO.

Temperatura de los granos

Modelo \implies nube calentada por un Campo de Radiación Interestelar (IRF).

- Se obtienen temperaturas para granos compuestos (silicatos+grafito) $\implies T_d < 16 K$ cuando $\tau_V > 1$.



Coeficiente de adhesión η

Lejos del grano

$$E_K = \frac{3}{2}kT_g$$

Cuando se acerca

$$E_K^- = \Delta H + E_K$$

Energía transferida

$$\Delta E_k = \xi E_K^- \quad \text{con } 0.3 < \xi < 1$$

$$\Rightarrow E_K^+ = (1 - \xi)E_K^-$$

Si $kT_g \ll \Delta H \Rightarrow E_K^+ < \Delta H$

Partícula no se escapa $\Rightarrow \eta = 1$

Luego, teóricamente $\eta = 1$, pero experimentalmente $\eta \ll 1$

Explicación: $\eta = 1$ pero el gas se re-evapora a una tasa

$$t_e^{-1} = \nu_s e^{-\frac{\Delta H}{kT_d}} \quad \text{con } \nu_s \simeq 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Tiempo de colisión

Depende de la forma y tamaño del grano.

Se asumen esféricos y con una distribución $n(a) \propto a^{-3,5}$
con $a_+ = 0,25 \mu m$ y $a_-^{des} \simeq 50 A$

$$t_{coll} = 1 / \int v \sigma(a) dn(a) = \frac{1}{v A n_H}$$

$$A = \frac{3\mu\beta}{4\rho} \frac{1}{a_+^{1/2} - a_-^{1/2}} \left[\frac{1}{(a_-^{des})^{1/2}} - \frac{1}{a_+^{1/2}} \right]$$

Para el CO con $T_g = 10 K$

$$\Rightarrow t_{coll} = 2,5 \times 10^5 n_4^{-1} yr \quad \text{con } n_4 = n_H / 10^4 cm^{-3}$$

Edad de la nube

Tiempo en el cual la nube no ha sido calentada lo suficiente para permitir la evaporación del CO.

- Nube extendida $\Rightarrow n_H \simeq 10^3 \text{ cm}^{-3} \Rightarrow t_{coll} \simeq 10^5 \text{ yr}$
- Condensaciones $\Rightarrow n_H \simeq 10^4 \text{ cm}^{-3} \Rightarrow t_{coll} \simeq 10^4 \text{ yr}$

Mínimo valor para la edad: $t_{ff} = 4,3 \times 10^5 n_4^{-1/2} \text{ yr}$

- Nube extendida $\Rightarrow t_{nube} \simeq 10^7 \text{ yr}$
- Condensaciones $\Rightarrow t_{nube} > 3 \times 10^5 \text{ yr}$

En general $\Rightarrow 10 \eta t_{coll} < t_{nube}$

Presión de vapor de CO

- Presión parcial si todo el CO está en forma gaseosa

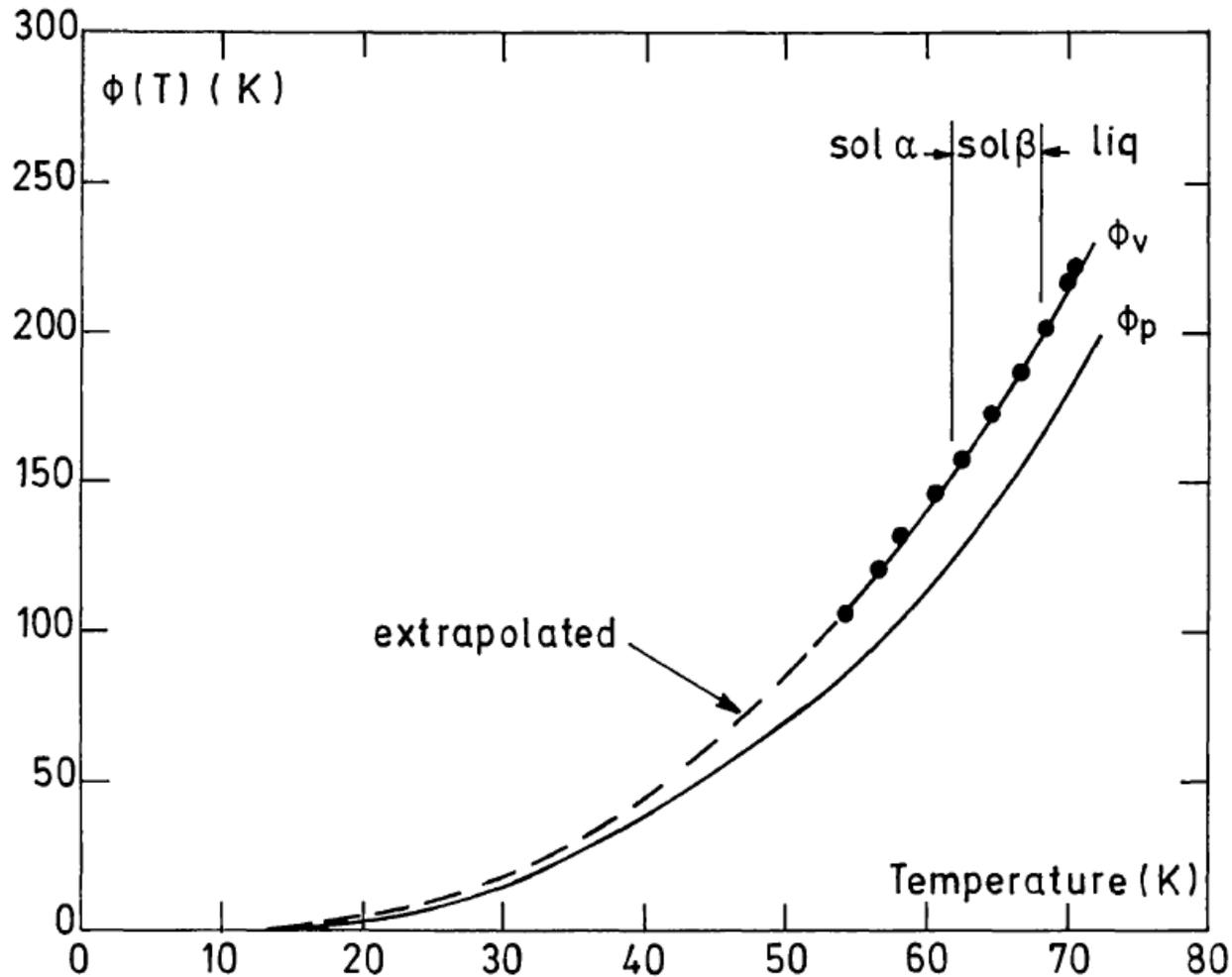
$$P_0 = 2 \cdot 10^{-18} \left(\frac{n_H}{10^4 \text{cm}^{-3}} \right) \left(\frac{T}{20\text{K}} \right) \text{ Torr}$$

- Presión de vapor saturado de CO sobre CO sólido

$$P_{sat}(T) = \frac{(2\pi M)^{3/2}}{h^3} (kT)^{5/2} \xi_{rot} \xi_{vib} \exp \left(-\frac{\Delta H(0)/k + \phi_\nu(T)}{T} \right)$$

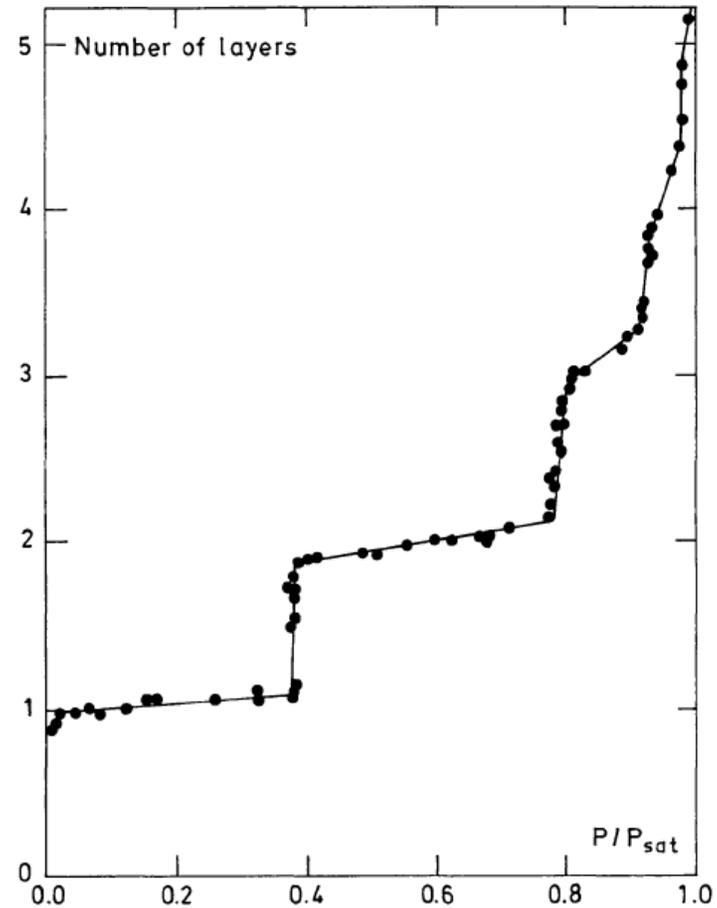
donde $\phi_\nu(T) = \frac{T}{k} \int_0^T \frac{dT_1}{T_1^2} \int_0^{T_1} C_v(T_2) dT_2$

Presión de vapor de CO

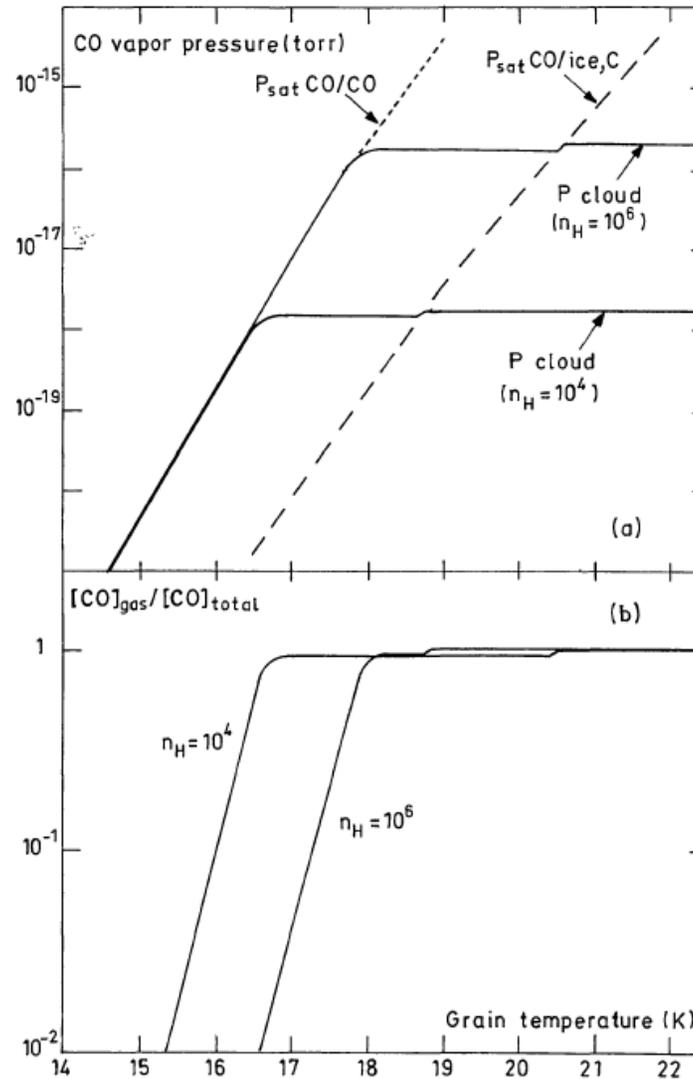


Presión de vapor de CO

- 1 capa $\Rightarrow \frac{[CO]_{total}}{3}$
- $P \neq P_{sat}$ para primeras 3 capas.



Presión de vapor de CO



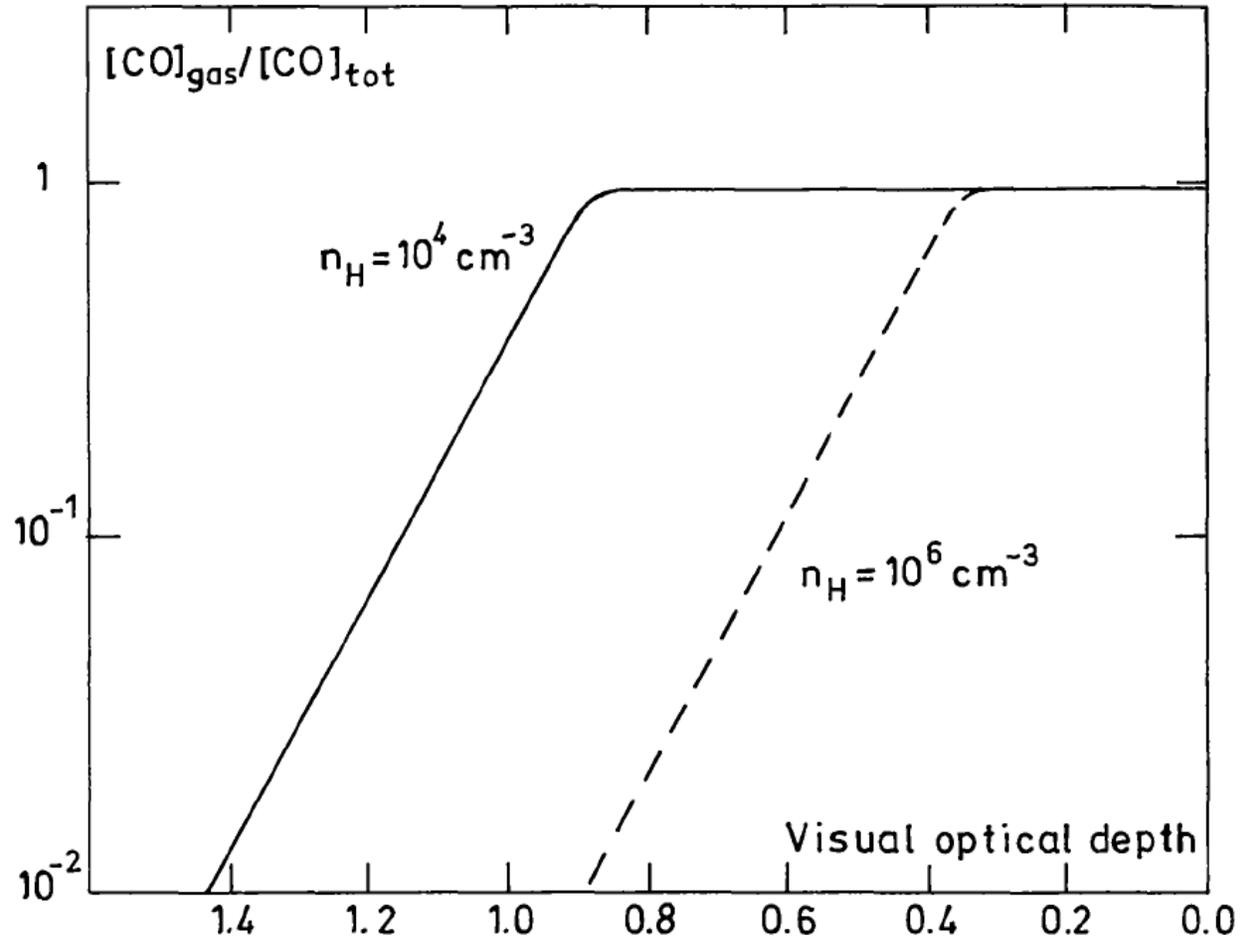
Depleción de CO esperada

Fracción de CO gaseoso:

$$\gamma = \frac{[CO]_{gas}}{[CO]_{total}}$$

$$\gamma(r) = \begin{cases} \left(\frac{T_g}{T_d}\right)^{1/2} \frac{P_{sat}(T_d)}{P_0} & \text{si esta cantidad es } < 1 \\ 1 & \sim \end{cases}$$

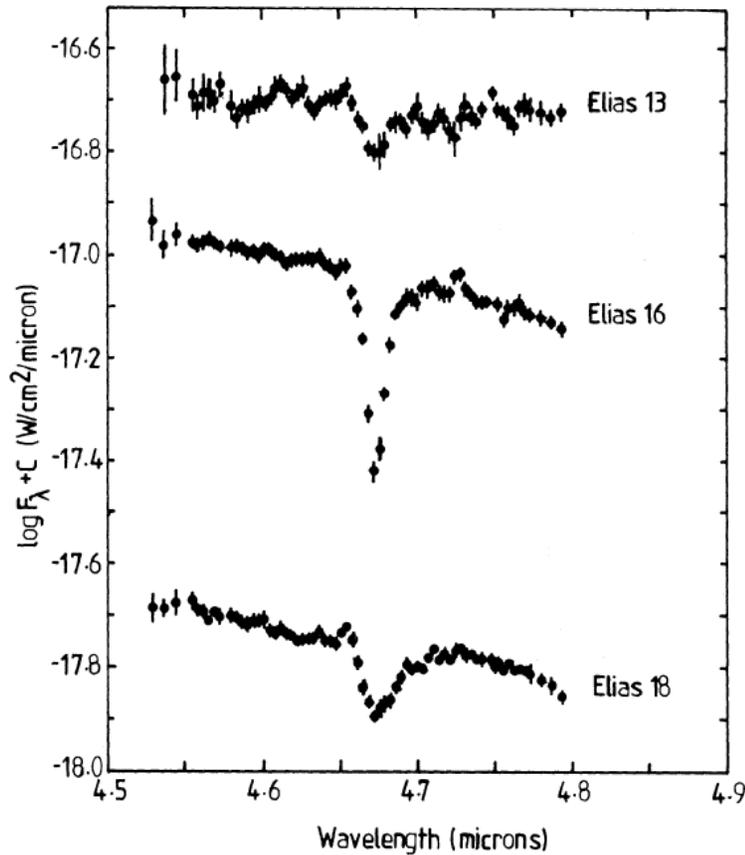
Depleción de CO esperada



Conclusiones

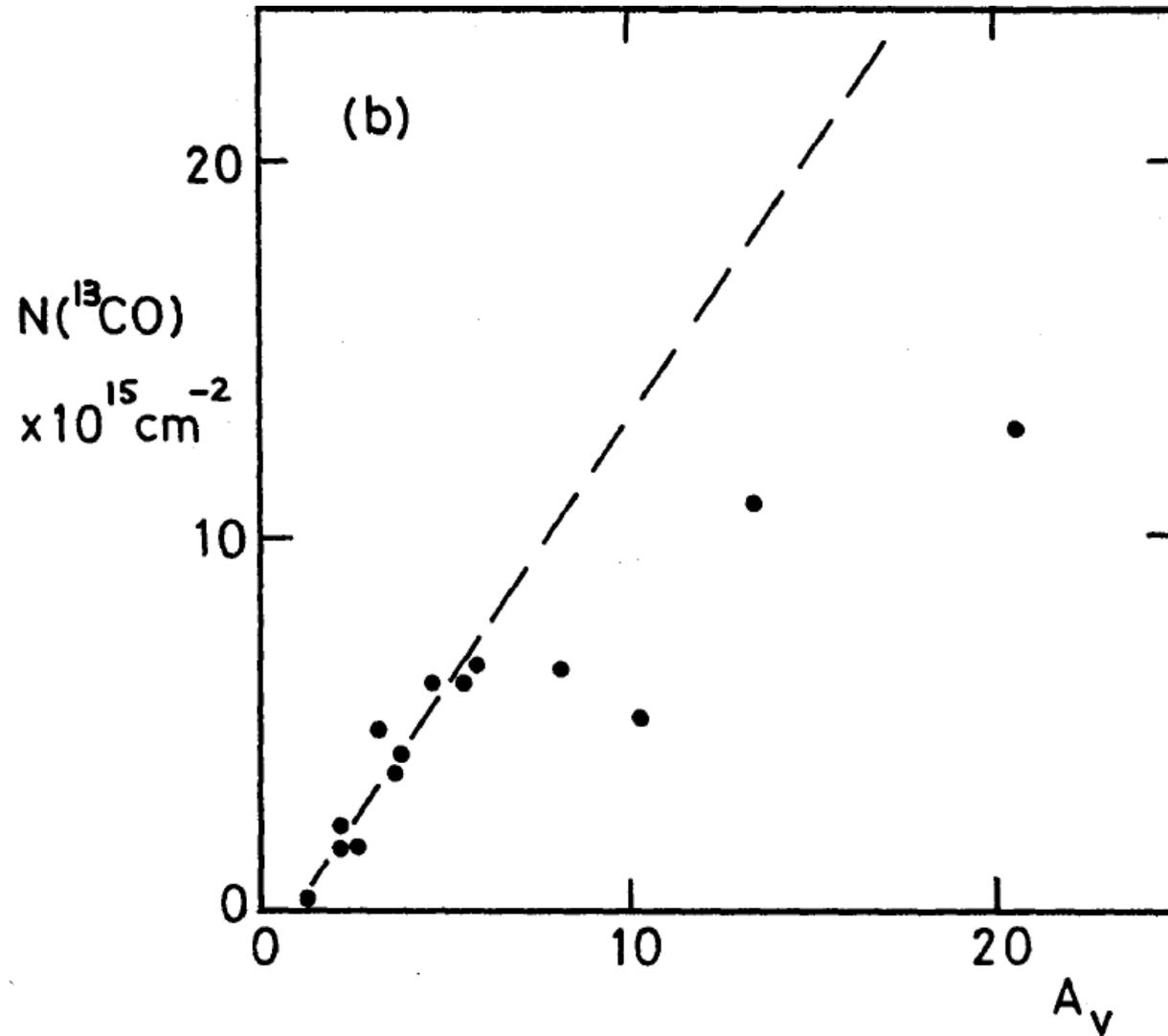
- Cuando el CO colisiona con un grano de polvo se condensa, se termaliza rápidamente a la temperatura del grano y luego se evapora.
- Se encontró que el tiempo de colisión es menor a la edad de la nube.
- Para $\tau_\nu > 1,4$ y $n_H = 10^4 \text{ cm}^{-3}$, gran cantidad del CO se condensaría si solo se considera calentamiento termal para los granos.
- Existe un gran contradicción entre estas predicciones y las observaciones: se observan moléculas como NH_3 , H_2CO , HC_nN .. formadas a partir de CO, N_2 .
- Debe estar actuando algún mecanismo de evaporación de las moléculas.

CO sólido en las nubes de Tauro



- Primera evidencia observacional de CO sólido en nubes moleculares oscuras
- Se observa claramente la línea de CO sólido a $4.65 \mu m$.

CO sólido en las nubes de Tauro



CO sólido en las nubes de Tauro

- La condensación del CO en los granos en las zonas más densas de la nube podría ser responsable del cambio en la pendiente.
- Fotodisociación \Rightarrow mecanismo de evaporación a bajas densidades ($A_V \leq 5 \text{ mag}$)
- Rayos cósmicos \Rightarrow puede evitar la depleción total de CO en zonas densas.
- CO en los granos $\Rightarrow \Rightarrow$ 10-40 % del CO total

Referencias

- Léger, 1983, A&A 123, 271
- Whittet et al, 1985, MNRAS 216, 45