

# Formació i evolució estel·lar

## Pràctica 5.8.1

Estudiant: Sergi Blanco Cuaresma

30 d'agost de 2011

### Resum

Solució a l'exercici 5.8.1 de l'assignatura de formació i evolució estel·lar.

## Índex

<b>1</b>	<b>Interpretació d'observacions de CO a un núvol molecular</b>	<b>2</b>
1.1	Determinar temperatura cinètica . . . . .	2
1.2	Determinar les profunditats òptiques del $^{13}\text{CO}$ i $^{18}\text{CO}$ . . . . .	2
1.3	Determinar el quocient isotòpic $\left[\frac{^{13}\text{CO}}{^{18}\text{CO}}\right]$ i comparar-ho amb la relació isotòpica solar . . . . .	3
1.4	Determinar la densitat columnar $H_2$ i la massa de la regió . . . . .	3

# 1 Interpretació d'observacions de CO a un núvol molecular

Les figures 1 i 2 mostren els espectres de les línies de CO ( $J = 2 \rightarrow 1$ ),  $^{13}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) i  $^{18}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) a la posició central, i els mapes d'emissió integrada del  $^{13}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) i  $^{18}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) a la regió al voltant de l'objecte estel·lar jove V654 Cygni (situat a una distància de 3.5kpc), obtinguts amb el radiotelescopi de 30 m a Pico Veleta.

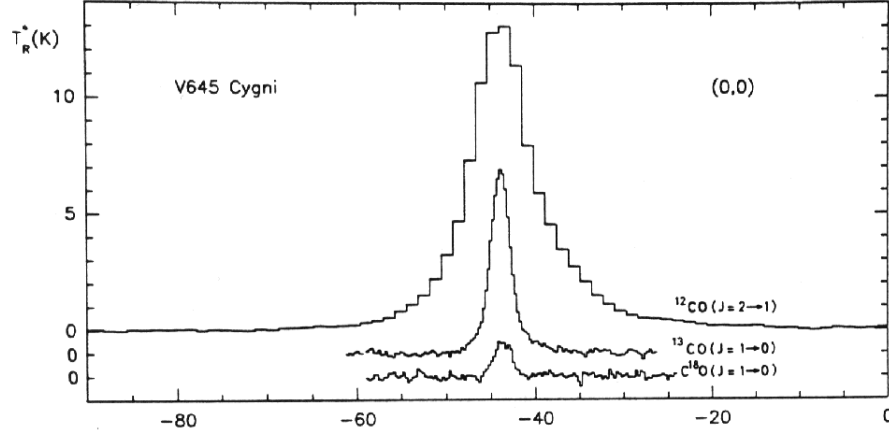


Figura 1: Espectres de CO ( $J = 2 \rightarrow 1$ ),  $^{13}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) i  $^{18}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) a la posició central.

## 1.1 Determinar temperatura cinètica

Suposant  $T_{ex}(\text{CO}) = T_k$  i que el CO és òpticament gruixut ( $\tau^{12} \gg 1$ ), llavors per a transicions  $J = 2 \rightarrow 1$ :

$$T_{ex} = \frac{11.06}{\ln(1 + (11.06 / (T_0^{12} + 0.19)))} \quad (1)$$

	$T_0 (K)$	$T_{ex} (K)$
CO ( $J = 2 \rightarrow 1$ )	13	18.16

Taula 1: Temperatura d'excitació

## 1.2 Determinar les profunditats òptiques del $^{13}\text{CO}$ i $^{18}\text{CO}$

A partir de l'equació del transport  $T_0 = [J_\nu(T_{ex}) - J_\nu(T_{bg})](1 - e^{-\tau_0})$  i suposant:

1. Termalització completa:  $T_{ex} (^{13}\text{CO}) = T_{ex} (^{18}\text{CO}) = T_{ex} (\text{CO})$
2.  $^{13}\text{CO}$  i  $^{18}\text{CO}$  són òpticament prims:  $\tau^{13} \lesssim 1$  i  $\tau^{18} \lesssim 1$

Llavors per transicions  $J = 1 \rightarrow 0$ :

$$\tau^{13} = -\ln \left( 1 - \frac{T_0^{13}}{(5.29 / (e^{5.29/T_{ex}} - 1)) - 0.87} \right) \quad (2)$$

$$\tau^{18} = -\ln \left( 1 - \frac{T_0^{18}}{(5.27 / (e^{5.27/T_{ex}} - 1)) - 0.87} \right) \quad (3)$$

	$T_0 (K)$	$T_{ex} (K)$	$\tau$
$^{13}\text{CO} (J = 1 \rightarrow 0)$	5.75	18.16	0.49262
$^{18}\text{CO} (J = 1 \rightarrow 0)$	1		0.07

Taula 2: Profunditat òptica

### 1.3 Determinar el quocient isotòpic $\left[\frac{^{13}\text{CO}}{^{18}\text{O}}\right]$ i comparar-ho amb la relació isotòpica solar

Considerant la transició  $J = 1 \rightarrow 0$  per  $^{13}\text{CO}$  i  $A_{10} = 6.49 \times 10^{-8} \text{s}^{-1}$ , llavors la densitat columnar de  $^{13}\text{CO}$  i  $^{18}\text{CO}$  és:

$$\left[\frac{N^{13}}{\text{cm}^{-2}}\right] = 2.42 \times 10^{14} \left[\frac{\Delta v}{\text{km s}^{-1}}\right] \left[\frac{T_{ex}}{K}\right] \frac{\tau_0^{13}}{1 - e^{-5.29/T_{ex}}} \quad (4)$$

$$\left[\frac{N^{18}}{\text{cm}^{-2}}\right] = 2.42 \times 10^{14} \left[\frac{\Delta v}{\text{km s}^{-1}}\right] \left[\frac{T_{ex}}{K}\right] \frac{\tau_0^{18}}{1 - e^{-5.27/T_{ex}}} \quad (5)$$

	$\Delta v (\text{km s}^{-1})$	$T_0 (K)$	$\tau$	$N^{18} (\text{cm}^{-2})$
$^{13}\text{CO} (J = 1 \rightarrow 0)$	3	18.16	0.49262	$2.5701 \times 10^{16}$
$^{18}\text{CO} (J = 1 \rightarrow 0)$	2		0.07	$3.6639 \times 10^{15}$

Taula 3: Densitat columnar de  $^{13}\text{CO}$  i  $^{18}\text{CO}$

Per tant, el quocient correspon a:

$$\left[\frac{^{13}\text{CO}}{^{18}\text{O}}\right] = \left[\frac{N^{13}}{N^{18}}\right] = 7.0147 \quad (6)$$

En canvi, a l'entorn solar el quocient és inferior:

$$\left[\frac{^{13}\text{CO}}{^{18}\text{O}}\right] = \frac{1}{0.18} = 5.56 \quad (7)$$

### 1.4 Determinar la densitat columnar $H_2$ i la massa de la regió

Prenent com abundància  $\left[\frac{H_2}{^{13}\text{CO}}\right] = 5 \times 10^5$ , la densitat columnar  $H_2$  correspon a:

$$N(H_2) = 5 \times 10^5 N^{13} = 5 \times 10^5 \cdot 2.5701 \times 10^{16} = 1.2851 \times 10^{22} \quad (8)$$

Per altra banda, considerant un diàmetre de  $d(\text{cm})$  i  $m_{H_2} = 2 \cdot 1.67 \times 10^{-24} \text{g}$ , la massa de la regió ve determinada per:

$$M(H_2) = \frac{\pi d^2}{4} N(H_2) m_{H_2} \quad (9)$$

El diàmetre físic d'un objecte a partir del seu tamany angular  $\theta$  i distància es pot obtenir aplicant la fórmula:

$$\tan(\theta) = \frac{\text{diàmetre}}{\text{distància}} \Rightarrow \text{diàmetre} = \tan(\theta) \times \text{distància} \quad (10)$$

Per angles petits en radians es pot realitzar l'aproximació  $\tan(\theta) \simeq \theta$ . Per altra banda, per passar de segons d'arc a radians:

$$\theta'' \times \frac{1'}{60''} \times \frac{1^\circ}{60'} \times \frac{\pi}{180^\circ} \quad (11)$$

Prenent com a referència el mapa d'emissió de  $^{13}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) per velocitats 3 km/s, el diàmetre angular és de  $23'' = 1.1151 \times 10^{-4} \text{rad}$  i utilitzant una distància de  $3.5 \text{kpc}$ , el diàmetre correspon a:

$$d = 1.1151 \times 10^{-4} \cdot 3.5 \times 10^3 \text{pc} = 0.39 \text{pc} \cdot \frac{3.08568025 \times 10^{18} \text{cm}}{1 \text{pc}} = 1.2043 \times 10^{18} \text{cm} \quad (12)$$

Per tant, la massa de la regió és:

$$M(H_2) = \frac{\pi (1.2043 \times 10^{18})^2}{4} \cdot (1.2851 \times 10^{22}) \cdot (2 \cdot 1.67 \times 10^{-24}) = 4.891 \times 10^{34} g \quad (13)$$

Que equival a:

$$M(H_2) = 4.891 \times 10^{34} g \frac{1 M_\odot}{1.98892 \times 10^{33} g} = 24.6 M_\odot \quad (14)$$

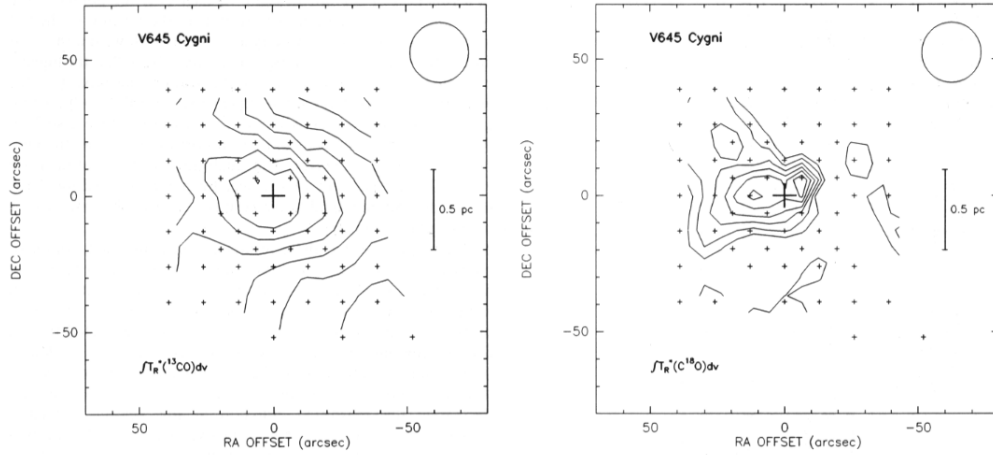


Figura 2: Mapes d'emissió de  $^{13}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) i  $^{18}\text{CO}$  ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) a V654 Cygni. Els contorns són 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 K km s $^{-1}$  (esquerra) i 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 K km s $^{-1}$  (dreta).

## Referències

- [1] Zhang, L.; Gao, Y. *Characteristics of Massive Star-forming Molecular Cores: The Spectral Observations of  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$  and  $\text{C}^{18}\text{O}$  and the Statistical Comparison*. Chinese Astronomy and Astrophysics, vol. 33, 2009, p. 32-47.
- [2] T. Wong; E. F. Ladd; D. Brisbin; M. G. Burton; I. Bains; M. R. Cunningham; N. Lo; P. A. Jones; K. L. Thomas; S. N. Longmore; A. Vigan; B. Mookerjee; C. Kramer; Y. Fukui; A. Kawamura. *Molecular line mapping of the giant molecular cloud associated with RCW 106 – II. Column density and dynamical state of the clumps*. MNRAS 386, 1069–1084 (2008)
- [3] Estalella, R; Anglada, G; *Introducción a la Física del Medio Interestelar*. Textos docents Vol. 50. Universitat de Barcelona. <http://www.am.ub.es/~robert/ifmi/>