

# ALMA e la ricerca dei dischi attorno alle (proto)stelle OB

*Riccardo Cesaroni, Maite Beltrán, Daniele Galli, Luca Moscadelli,  
V́ctor Rivilla, Leonardo Testi, Malcolm Walmsley*  
INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

- 1) La **formazione** delle **stelle OB** e il ruolo dei **dischi**
- 2) **Risultati ciclo 0 + ciclo 2 ALMA**: evidenza di **dischi** attorno a **stelle  $>10 M_{\odot}$**
- 3) Il **futuro**: formazione stelle massicce  $\rightarrow$  **ALMA**, **NOEMA**, ma anche E-ELT, JWST, SKA, ngVLA

# Come si formano le stelle OB?

## PROBLEMA:

$t_{\text{accr}} > t_{\text{KH}}$  per  $M_* > 8 M_{\odot} \rightarrow$  contrazione rapida e  
bruciamento H in fase di accrescimento

$\rightarrow$  pressione radiazione blocca accrescimento (in  
simmetria sferica)

$\rightarrow$  stelle  $> 8 M_{\odot}$  non si possono formare?!

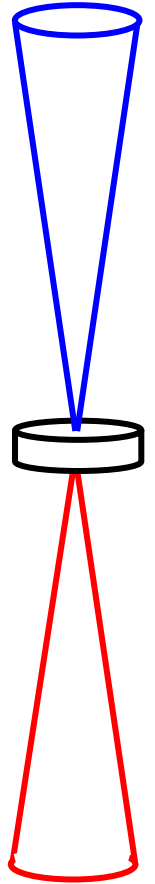
## SOLUZIONE (Kuiper et al.; Krumholz et al.):

Accrescimento mediante disco (+outflow)

Outflow → incanala i fotoni →  
→ riduce la pressione di radiazione

Disco → concentra l'accrescimento →  
→ aumenta la ram pressure

→ L'esistenza dei dischi in stelle OB  
indicherebbe una continuità nel modo di  
formazione, dalla piccola all'alta massa



## PROBLEMI OSSERVATIVI:

→ Dischi attorno a stelle OB molto difficili da osservare: **lontani** ed *embedded*

→ dist. OB > 1 kpc, disco ~100 AU → **HPBW < 0.1''**

→  $A_V=1000$  →  $\lambda >$  **mid-IR** necessaria

Prima di ALMA: risoluzione angolare **radio-submm > 0.4''**

**Adesso: fattibile con ALMA!**

# Progetto ALMA Cycle 0

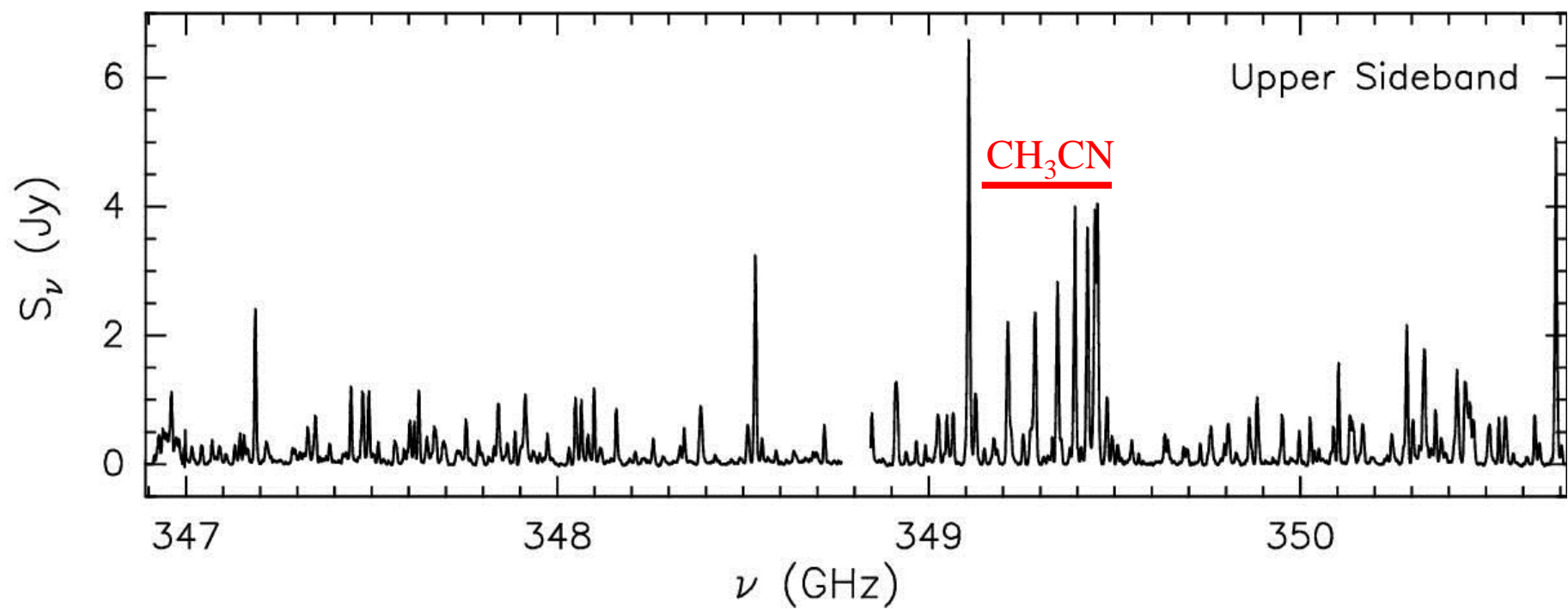
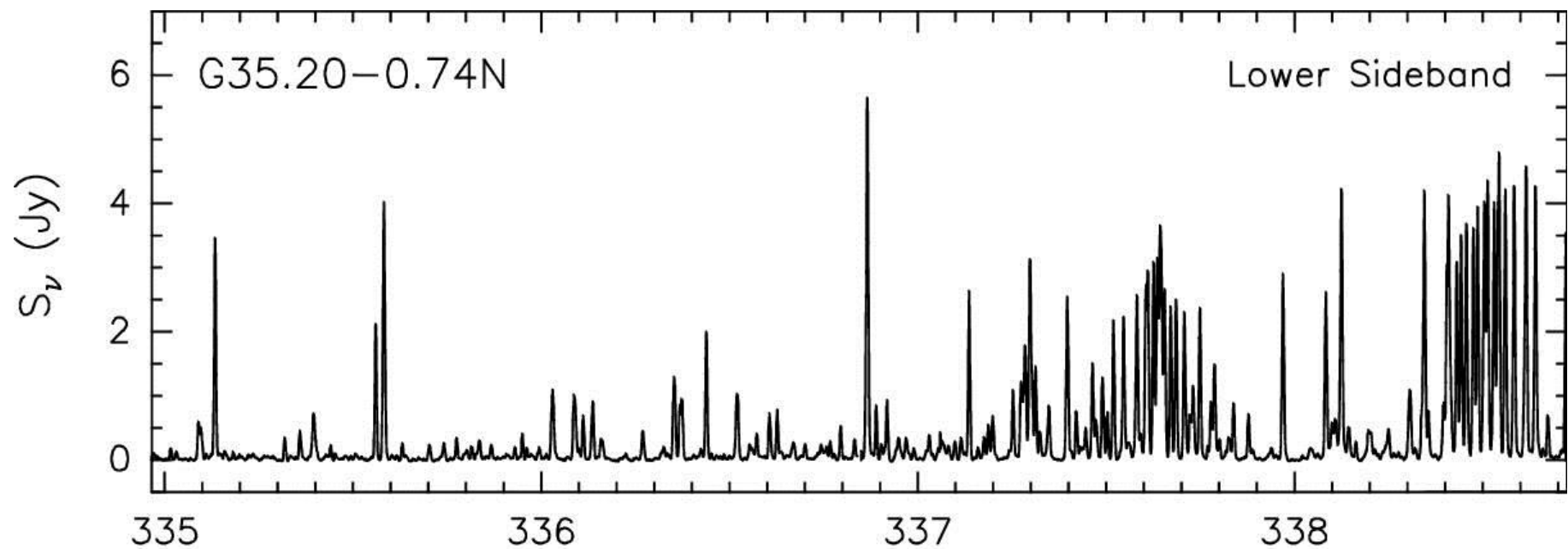
*R. Cesaroni, H. Zinnecker, M.T. Beltran, S. Etoka, D. Galli, C. Hummel,  
N. Kumar, L. Moscadelli, T. Preibisch, A. Sanchez-Monge, T. Stanke,  
F. Van der Tak, S. Vig, C.M. Walmsley, K.S. Wang*

**Scopo:** Trovare altri **dischi (quasi-)kepleriani** attorno a **(proto)stelle B** → **formazione stelle B** mediante **disco di accrescimento**

**Metodo:** Osservazioni **alta risoluzione** (0.4'') in traccianti di **alta densità/temperatura** (CH<sub>3</sub>CN) per disco e di **shock** (SiO) per jet/outflow

**Target:** **YSOs** con **10<sup>4</sup> L<sub>O</sub>** + **bipolar** nebulae + **ali** riga SiO + emissione **CH<sub>3</sub>CN** + distanza **< 3 kpc**

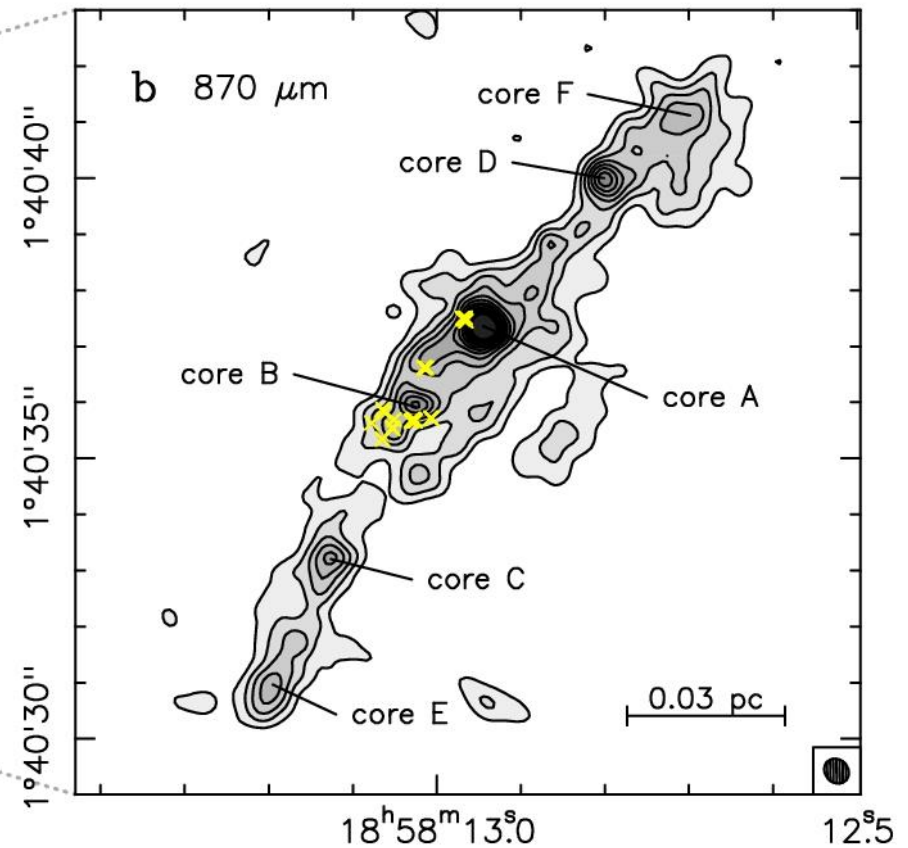
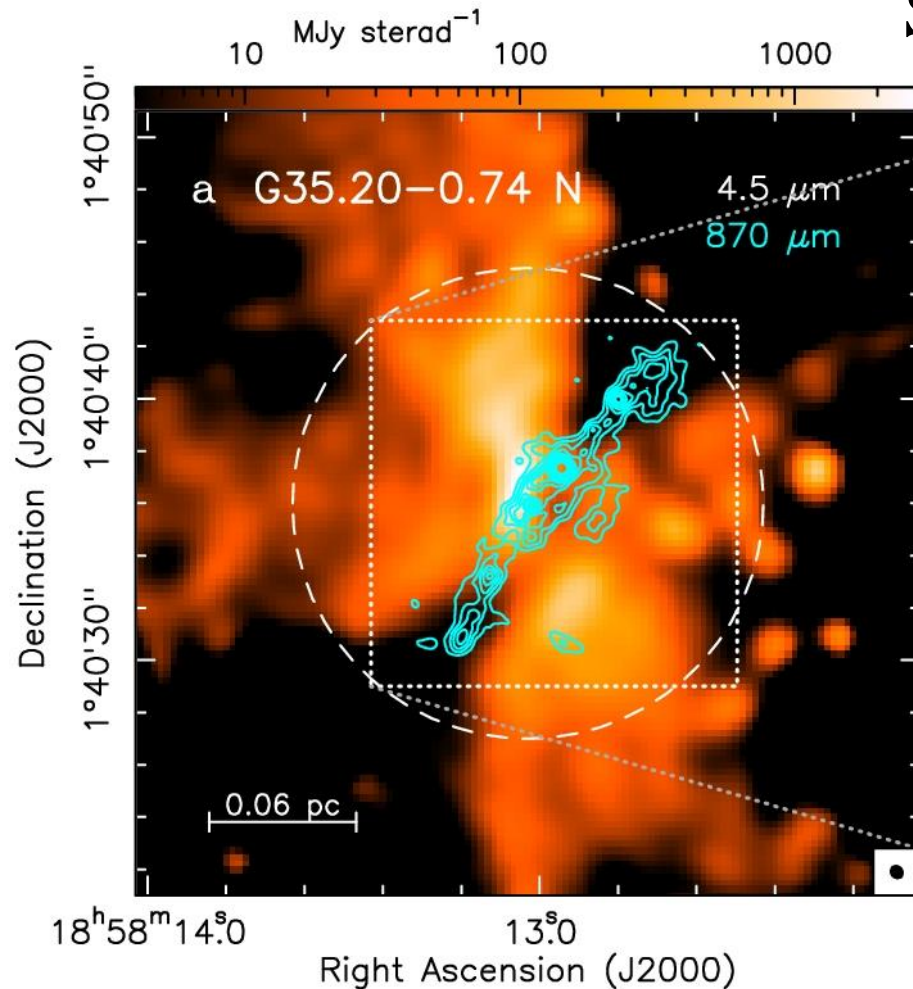
Un esempio:  
G35.20+0.74 N



# ALMA 350 GHz continuo:

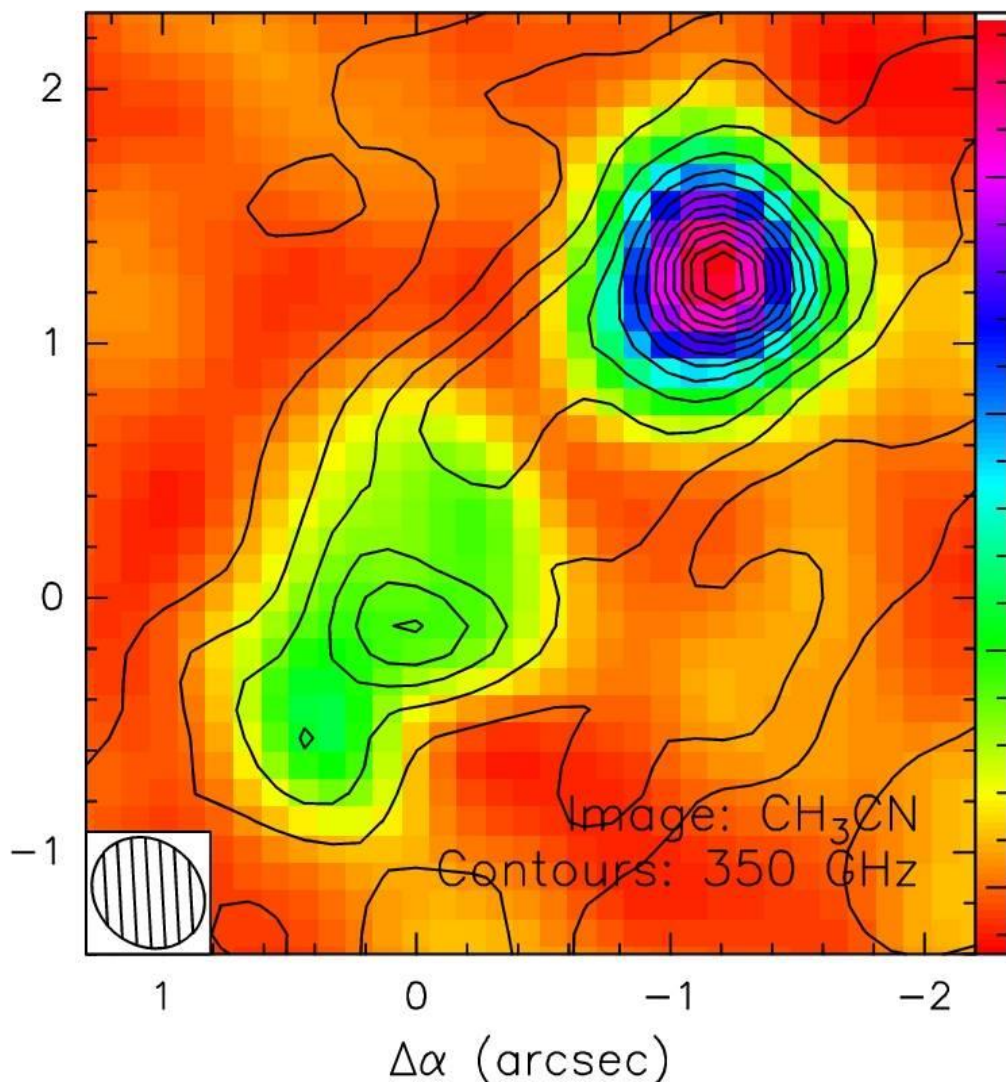
- **filamento** ( $\sim 40 M_{\odot}$ ) perpendicolare a nebulosa bipolare
- $\sim 6$  **core** lungo il filamento

Sanchez-Monge et al. (2013, 2014)



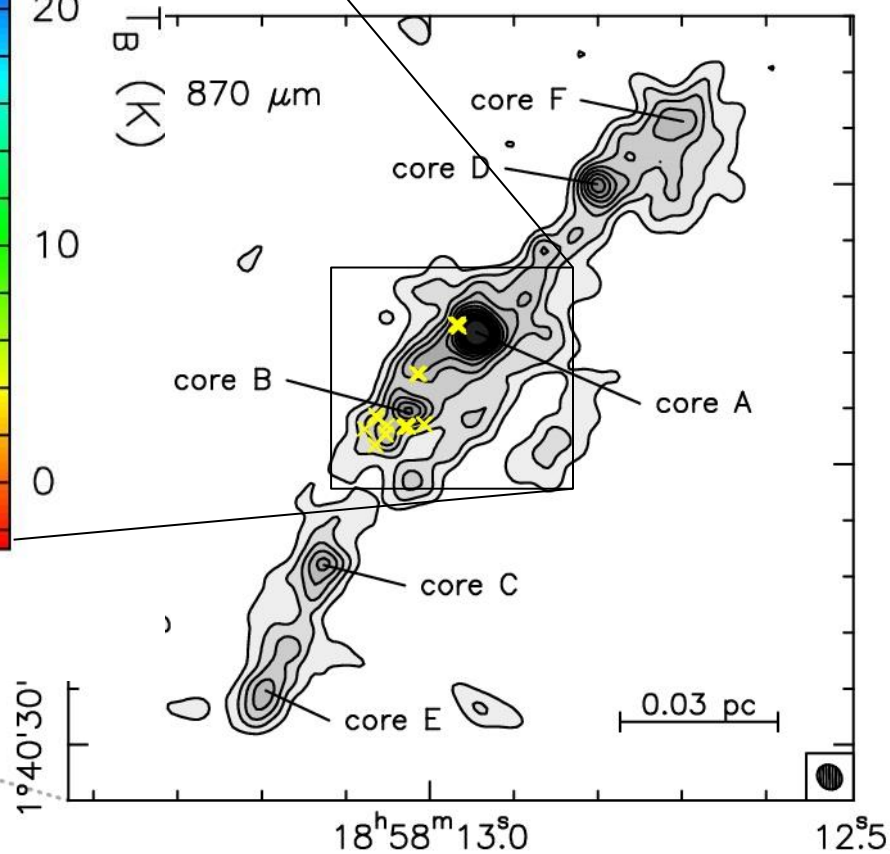


G35.20-0.74N

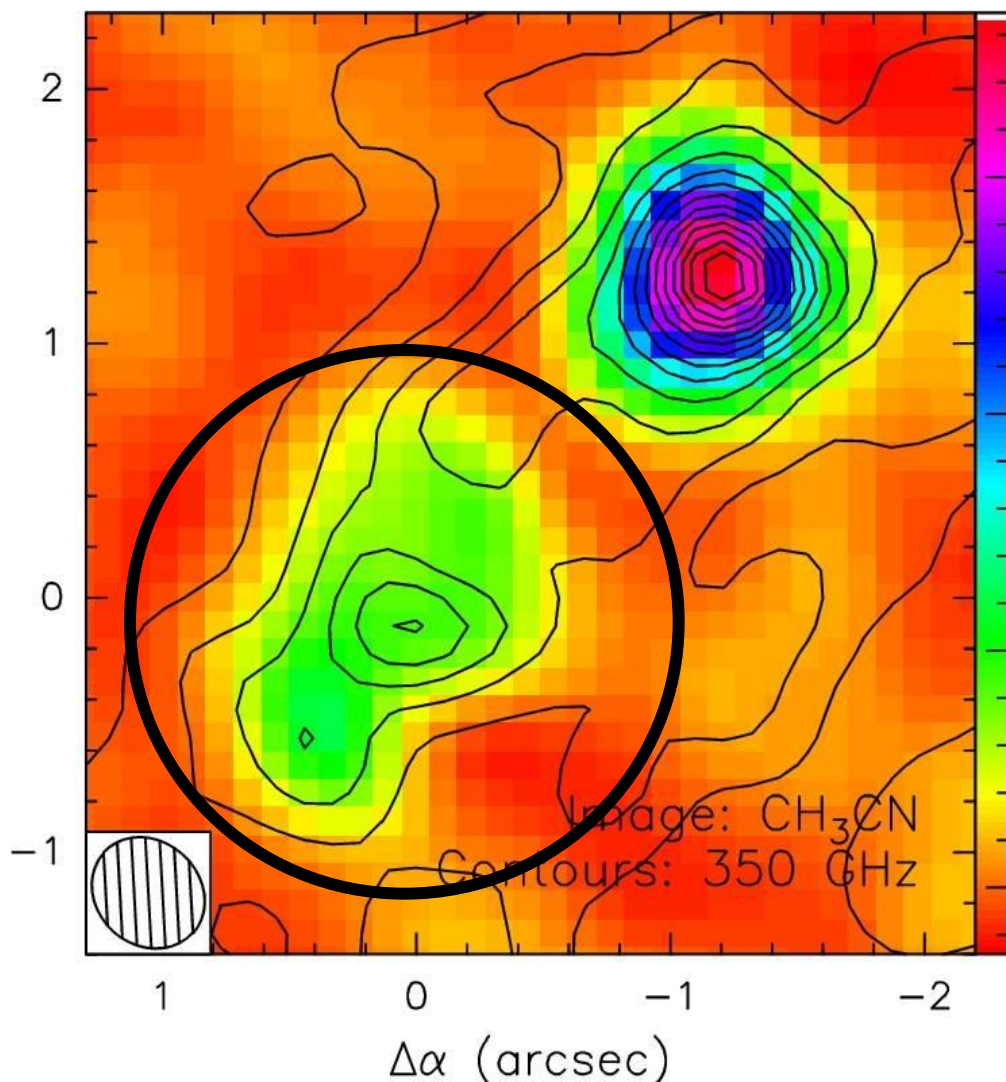


osa bipolare

Monge et al. (2013, 2014)

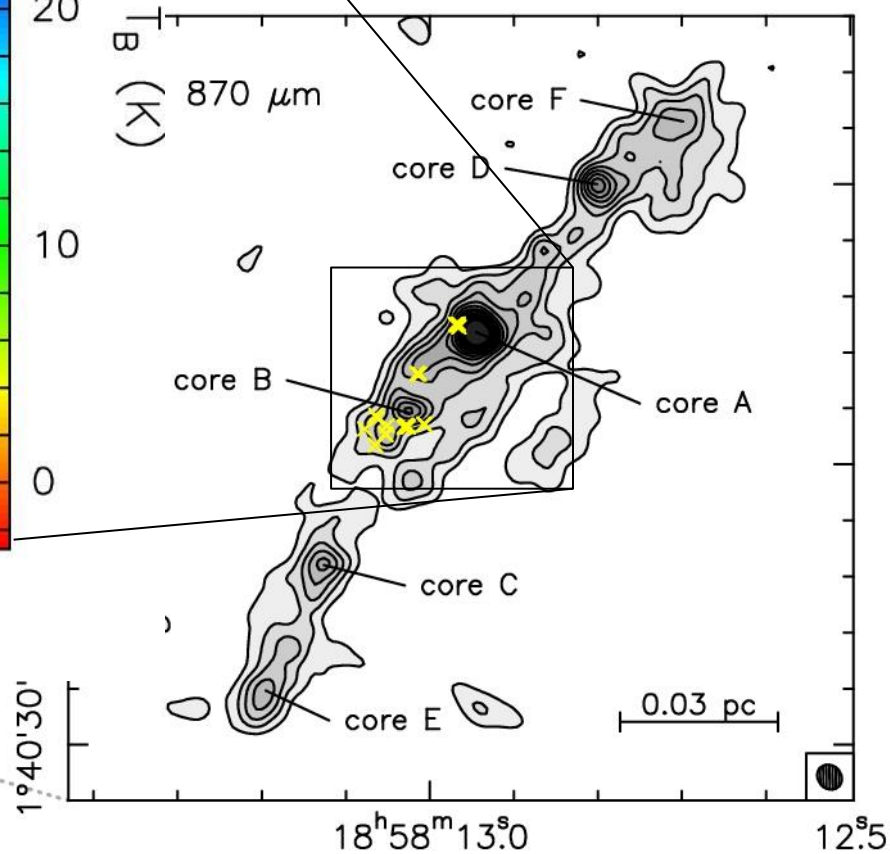


G35.20-0.74N

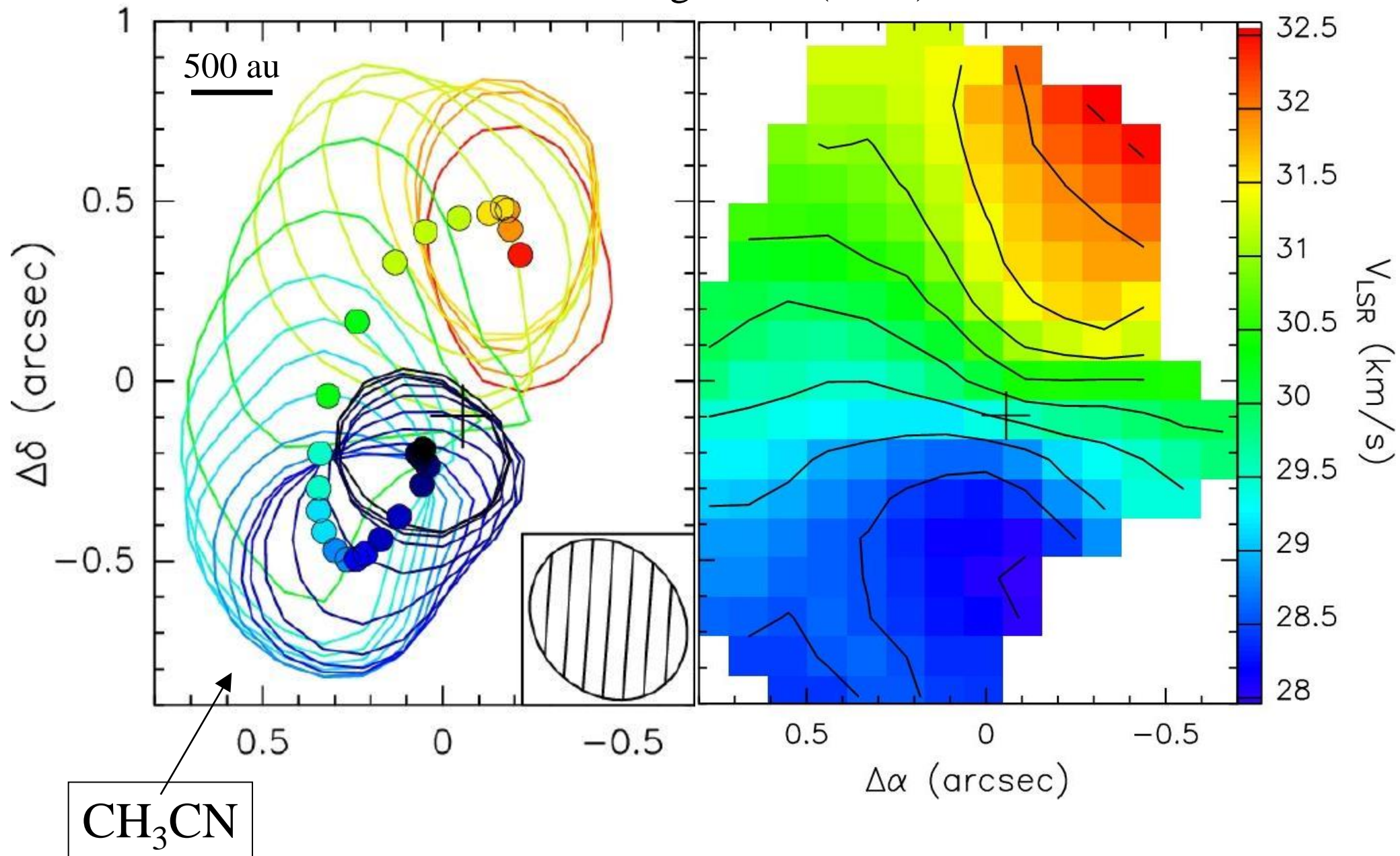


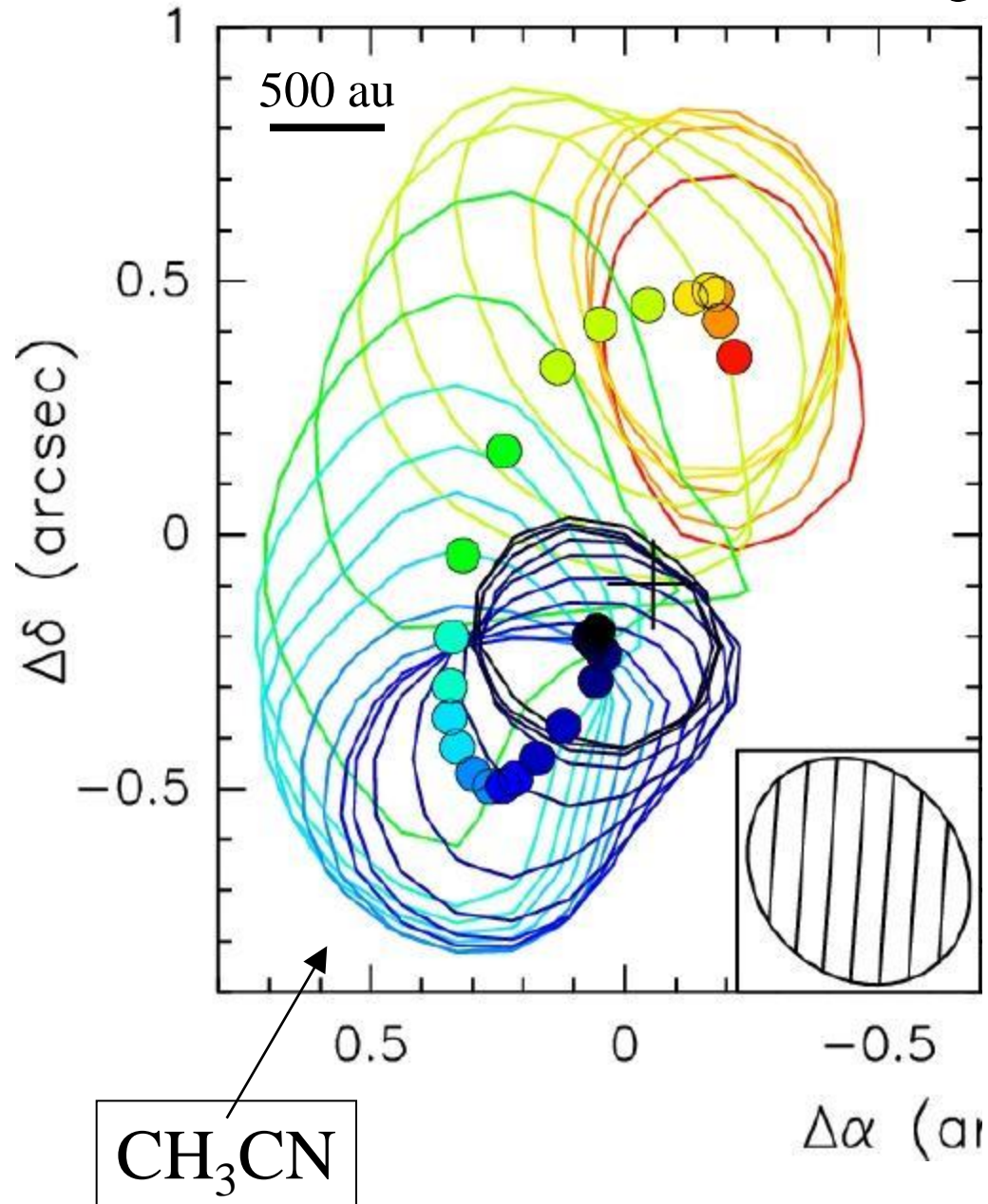
osa bipolare

Monge et al. (2013, 2014)





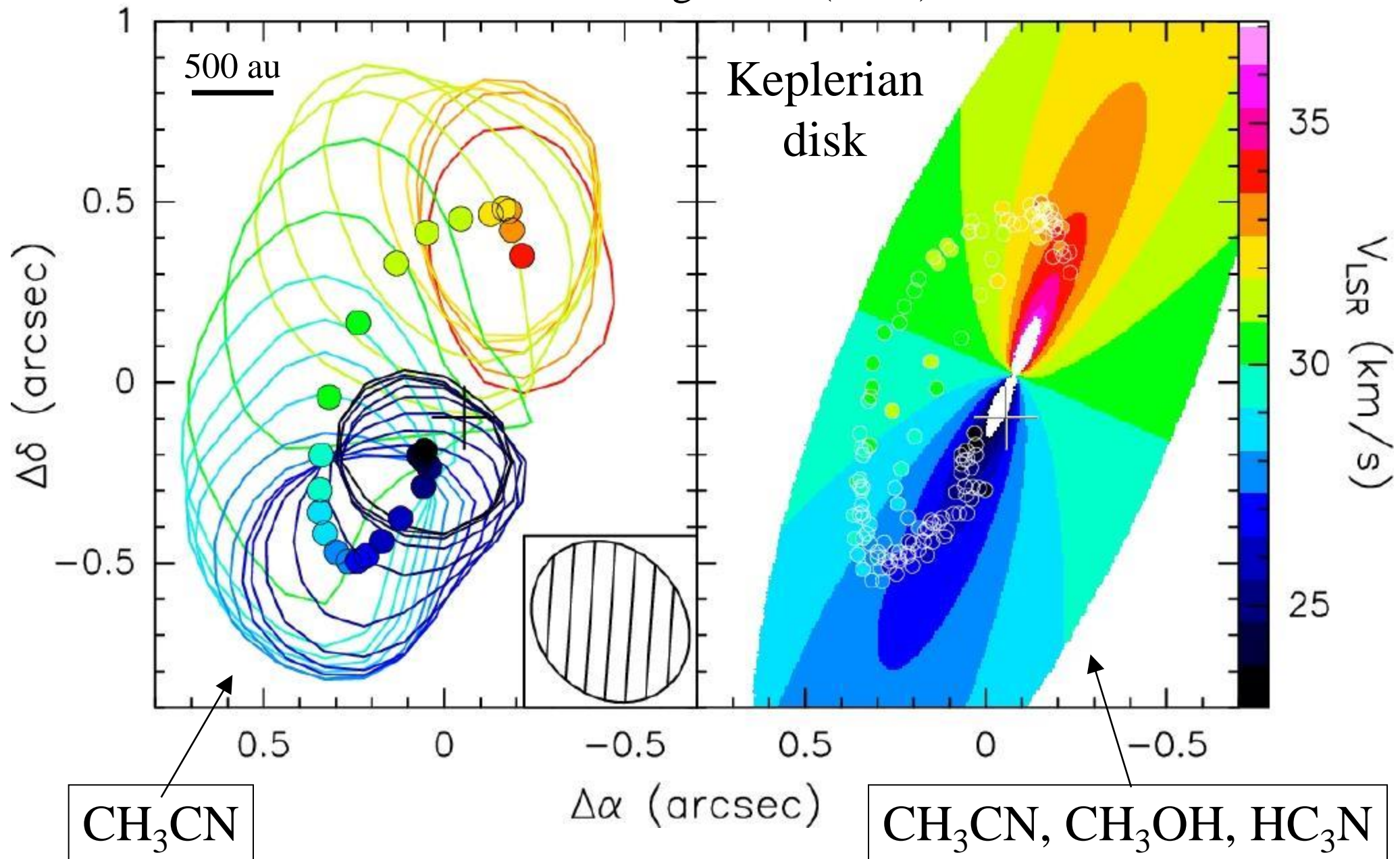




**Punti:** **picchi** ottenuti con fit gaussiano 2D della riga  $K=2$  del  $\text{CH}_3\text{CN}$ , nei diversi canali di velocità

**Curve:** livelli del **50%** dell'emissione della riga  $K=2$  del  $\text{CH}_3\text{CN}$ , in ogni canale





- **Fit** del campo di velocità con **disco Kepleriano** :
  - $M_{\text{stella}} = 18 M_{\odot}$
  - inclinazione disco =  $19^{\circ}$
  - P.A. disco =  $157^{\circ}$
  - Posizione stella molto vicina a **picco continuo**
  - Velocità sistemica:  $V_{\text{LSR}}(\text{stella}) = 30 \text{ km/s}$
- **Distribuzione** picchi di velocità  $\rightarrow R_{\text{disco}} = 2500 \text{ au}$
- **Continuo** 350 GHz  $\rightarrow M_{\text{disco}} = 1 M_{\odot} \ll M_{\text{stella}} \rightarrow$   
consistente con rotazione kepleriana

$L_{\text{stella}}(18 M_{\odot}) = L_{\text{bol}} = 3 \cdot 10^4 L_{\odot} \rightarrow$  sistema binario?  $\rightarrow$   
disco kepleriano *circum-binario*?

## Dischi

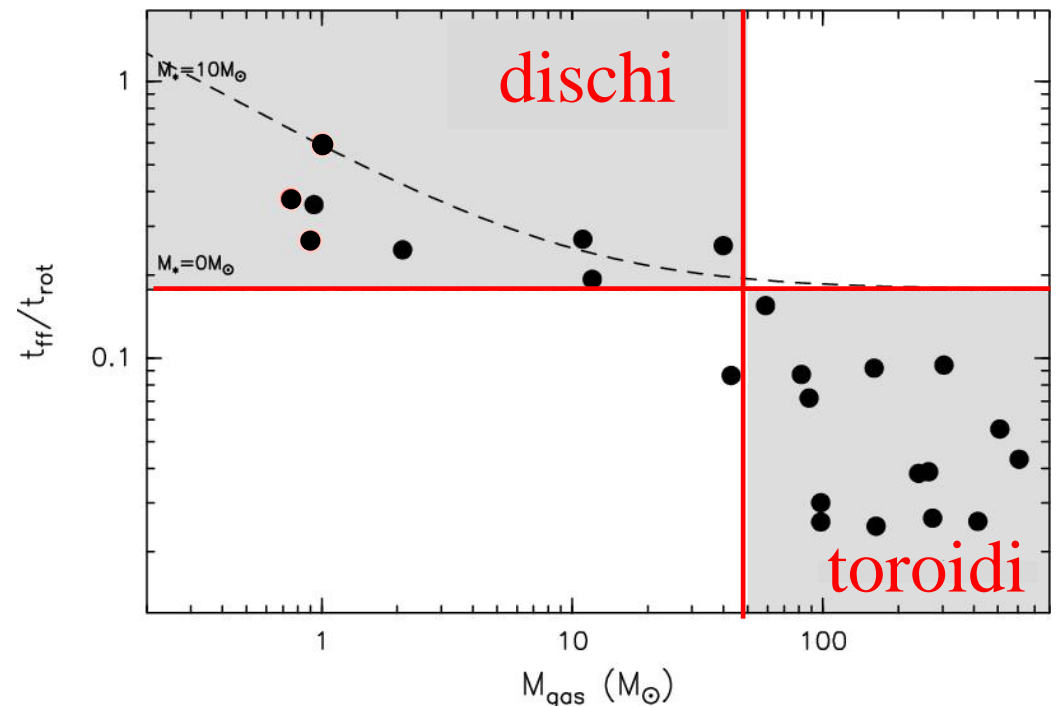
- $M < \text{alcune } 10 M_{\odot}$
  - $R \sim 1000 \text{ AU}$
  - $L \sim 10^4 L_{\odot} \rightarrow$  (proto)stelle **B**
  - grande  $t_{\text{acc}}/t_{\text{rot}}$
- $\rightarrow$  strutture *circumstellari* in equilibrio

$$\frac{t_{ff}}{t_{rot}} = \sqrt{\frac{M_{star} + M_{gas}}{32 M_{gas}}}$$

Beltran et al. (2010, 2014)  
Sanchez-Monge et al. (2014)

## Toroidi

- $M > 100 M_{\odot}$
  - $R \sim 10000 \text{ AU}$
  - $L > 10^5 L_{\odot} \rightarrow$  (proto)stelle **O**
  - piccolo  $t_{\text{acc}}/t_{\text{rot}}$
- $\rightarrow$  strutture **transienti** attorno a *cluster*



# Proposta ALMA Cycle 2

*R. Cesaroni, M.T. Beltran, H. Beuther, A. Chrysostomou, T. Csengeri, S. Etoaka, G. Fuller, D. Galli, R. Galvan-Madrid, C. Goddi, T. Henning, M. Hoare, C. Hummel, K. Johnston, P. Klaassen, R. Kuiper, N. Kumar, S. Lumsden, L. Maud, L. Moscadelli, J. Mottram, T. Peters, T. Ratzka, A. Sanchez-Monge, P. Schilke, F. van der Tak, L. Testi, M. Thompson, S. Vig, C.M. Walmsley, K.-S. Wang, H. Zinnecker*

- **Scopo:** Rivelare primo **disco** attorno a **(proto)stella O**
- **Metodo:** **alta risoluzione** (0.2'') a **1 mm**; traccianti di **alta densità/temperatura** otticamente **sottili** ( $^{13}\text{CH}_3\text{CN}$ ) per disco e di **shock** (SiO) per jet/outflow
- **Target:** **cores** con  $L_{\text{bol}} > 10^5 L_{\text{O}}$  + **colore mid-IR** di protostella OB + evidenza di **outflow** + emissione  **$\text{CH}_3\text{CN}$**  o analogo + distanza  **$< 8$  kpc**



$F_\nu$  (mJy/beam) $V_{\text{LSR}}$  (km/s)

0

50

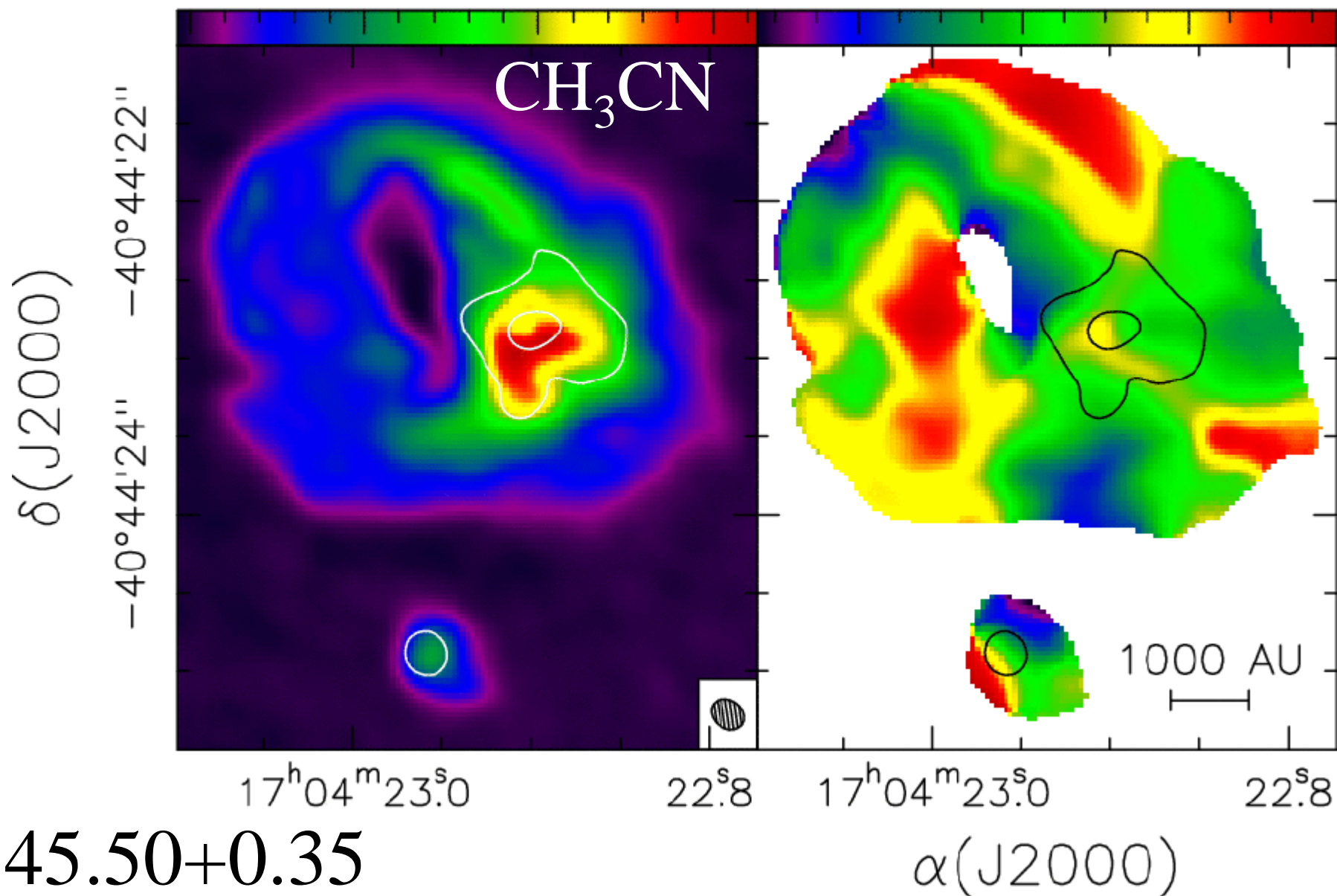
100

150

-20

-18

-16



G345.50+0.35

$F_\nu$  (mJy/beam) $V_{\text{LSR}}$  (km/s)

0

50

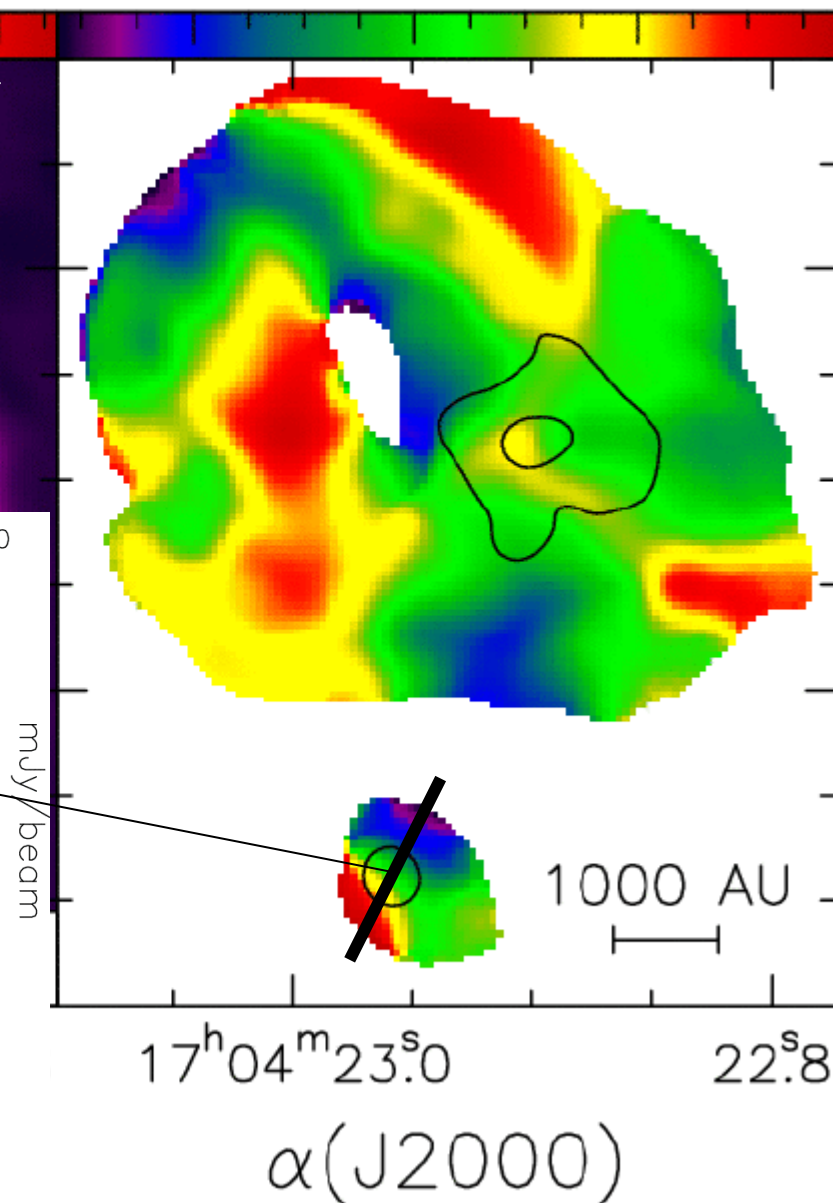
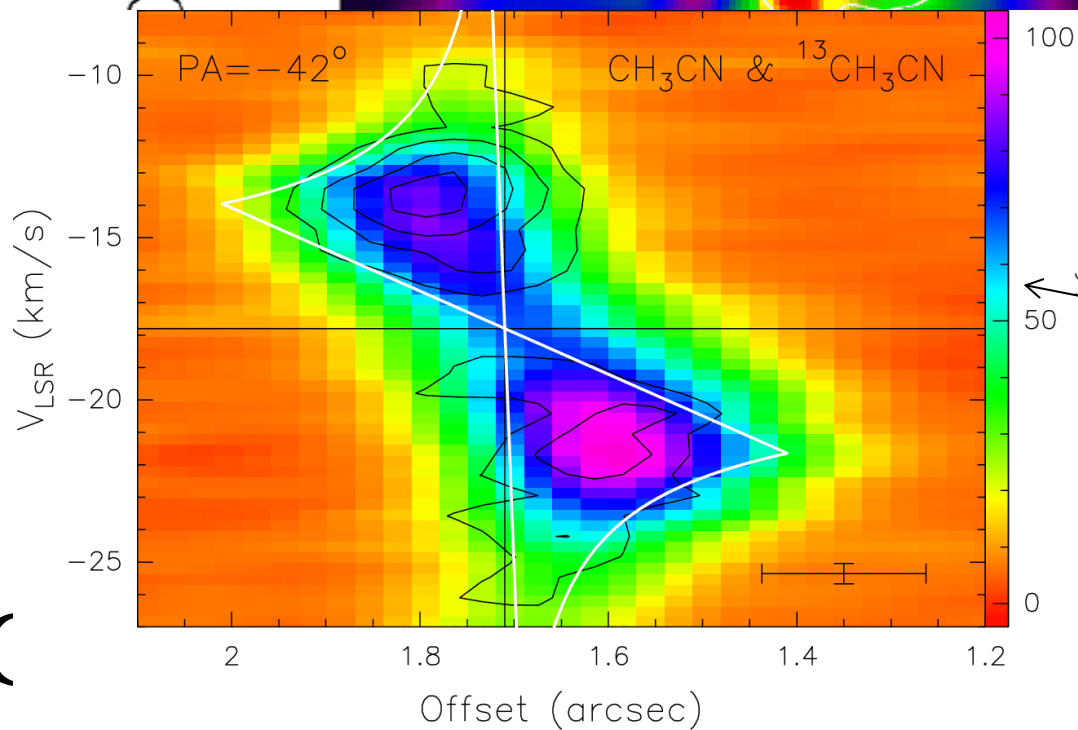
100

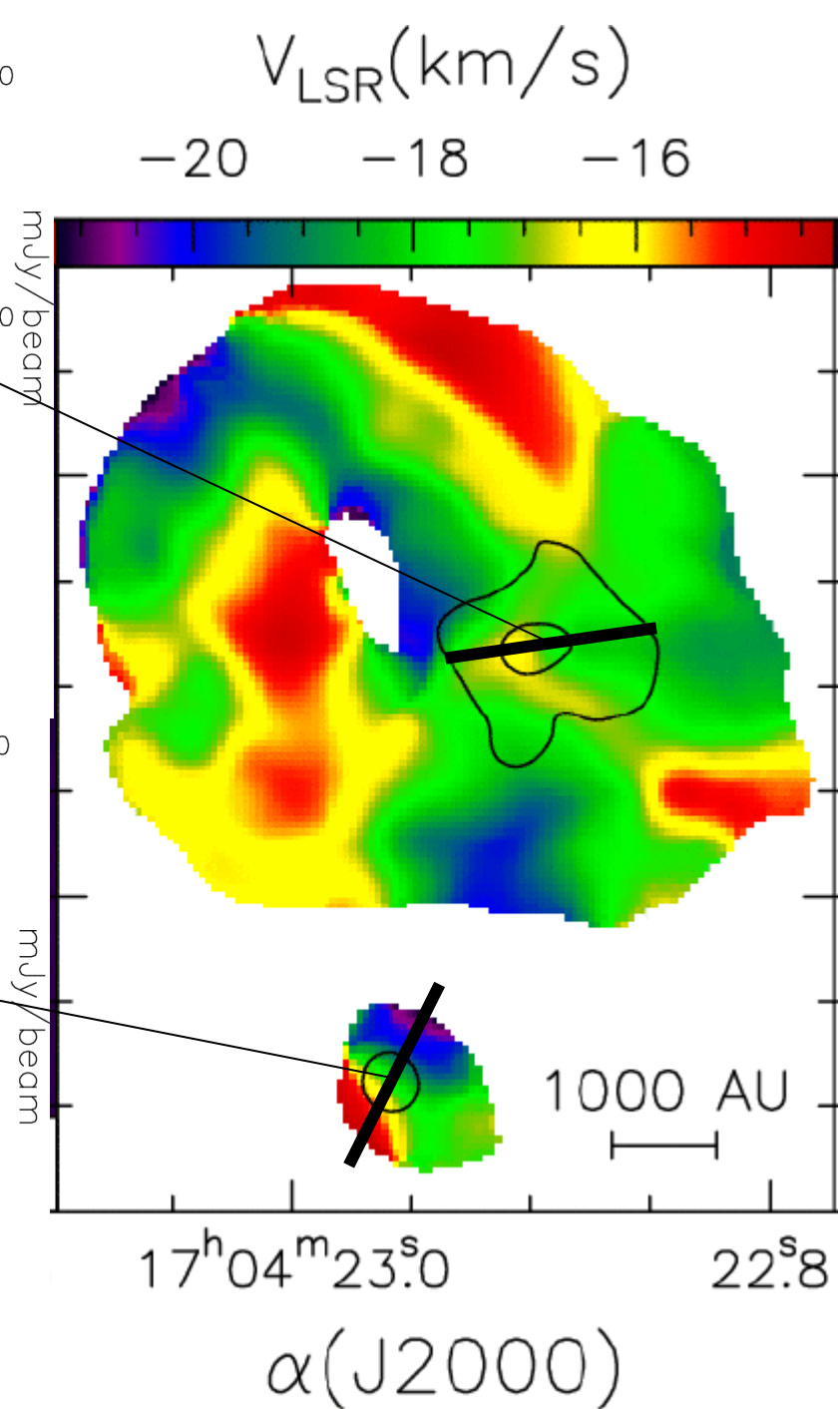
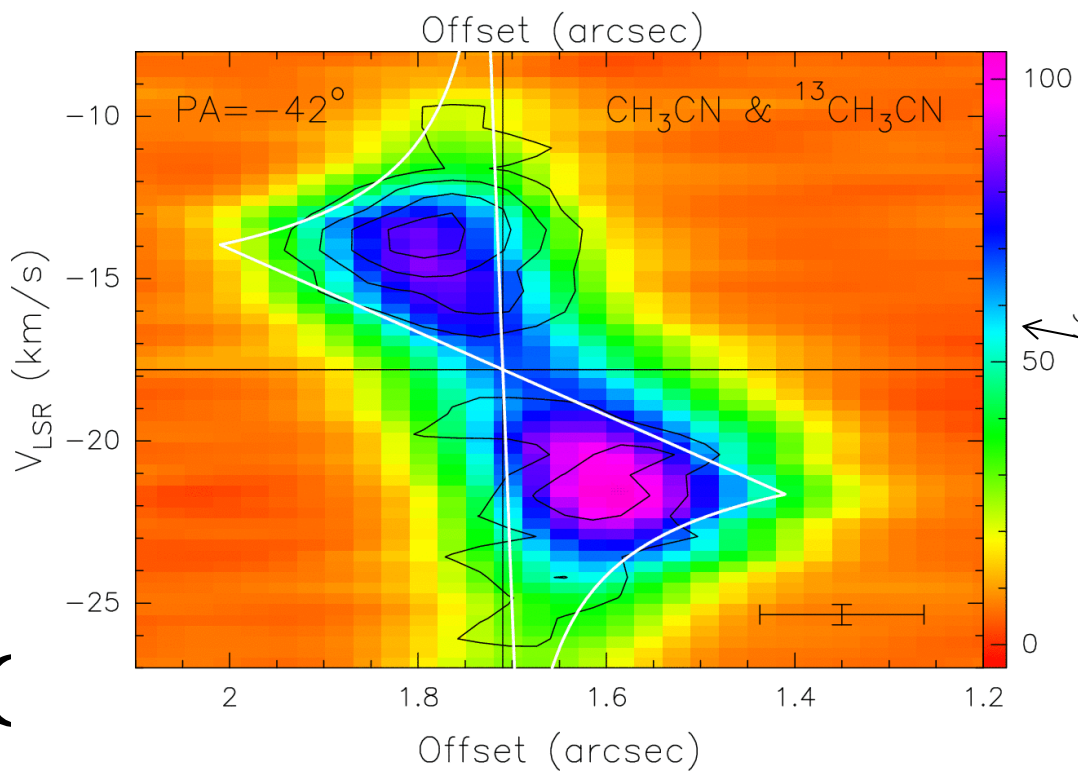
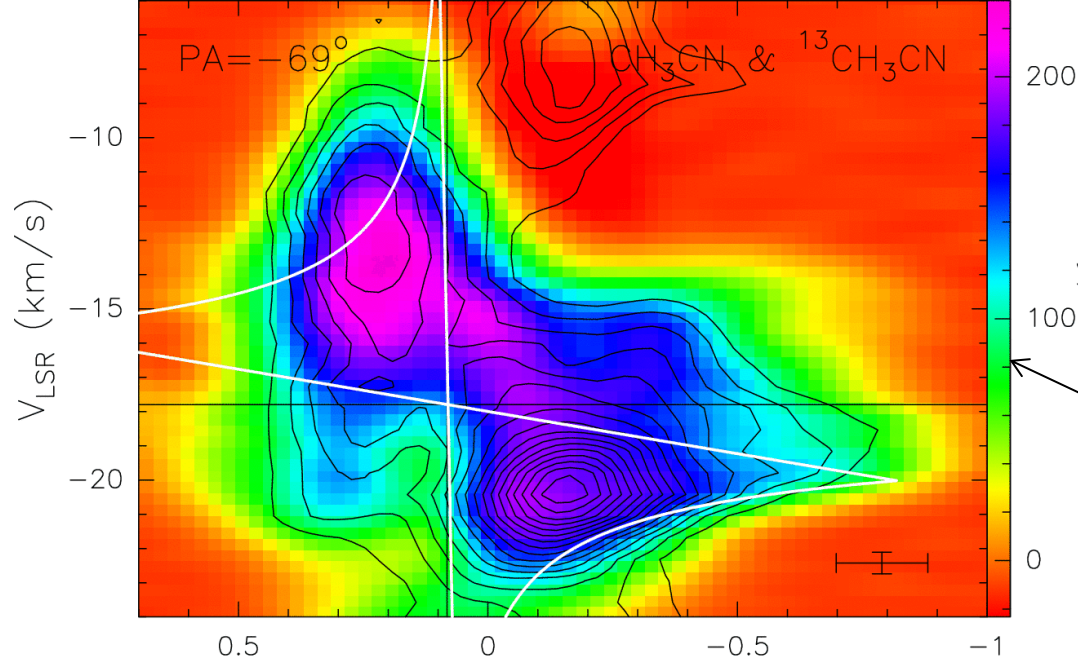
150

-20

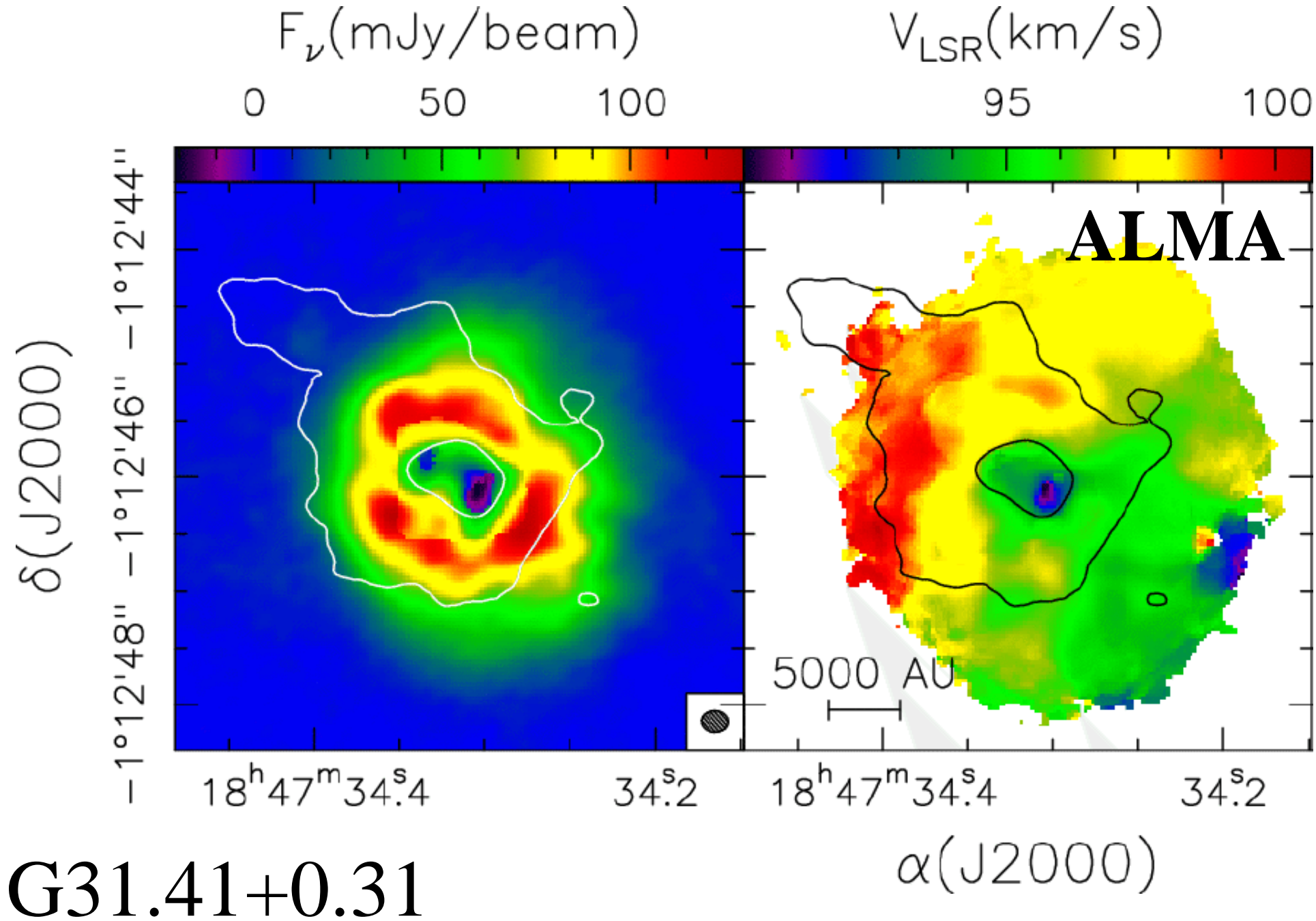
-18

-16

 $\text{CH}_3\text{CN}$  $-40^\circ 44' 22''$ 





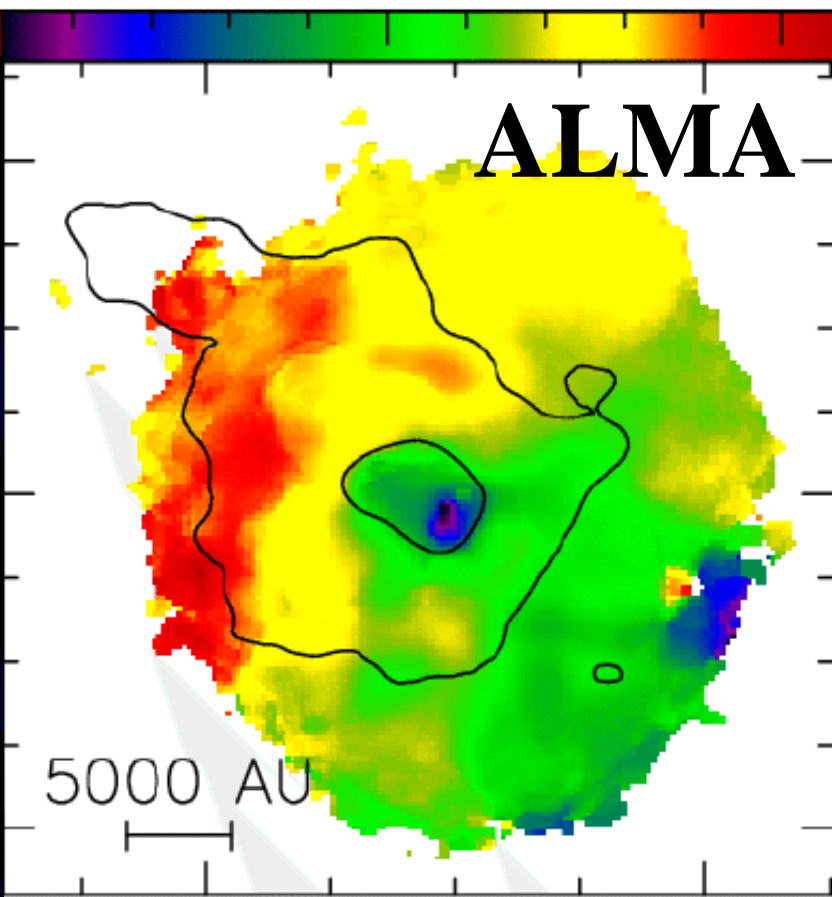
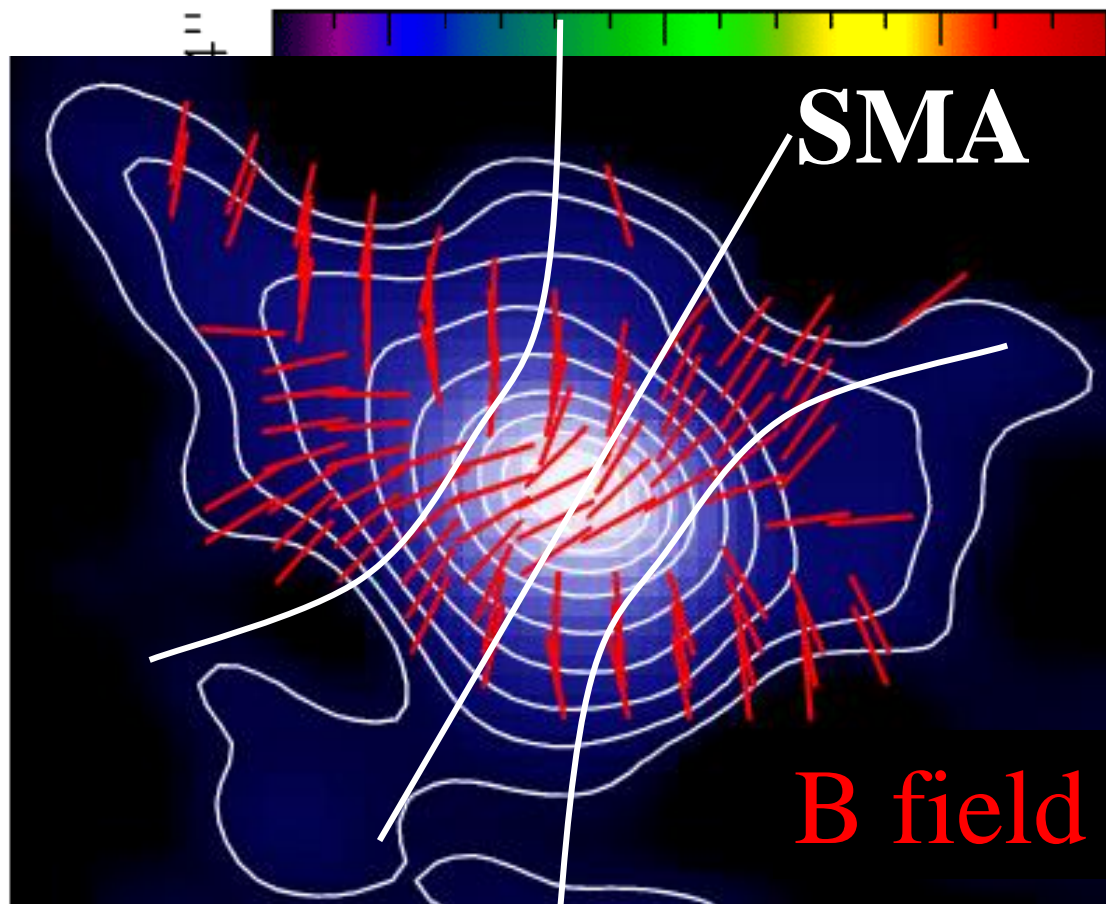


$F_\nu$  (mJy/beam)

$V_{\text{LSR}}$  (km/s)

0 50 100

95 100



Girart et al. (2009)

G31.41+0.31

18<sup>h</sup> 47<sup>m</sup> 34.<sup>s</sup>4 34.<sup>s</sup>2

$\alpha$ (J2000)

$F_\nu$  (mJy/beam)

$V_{\text{LSR}}$  (km/s)

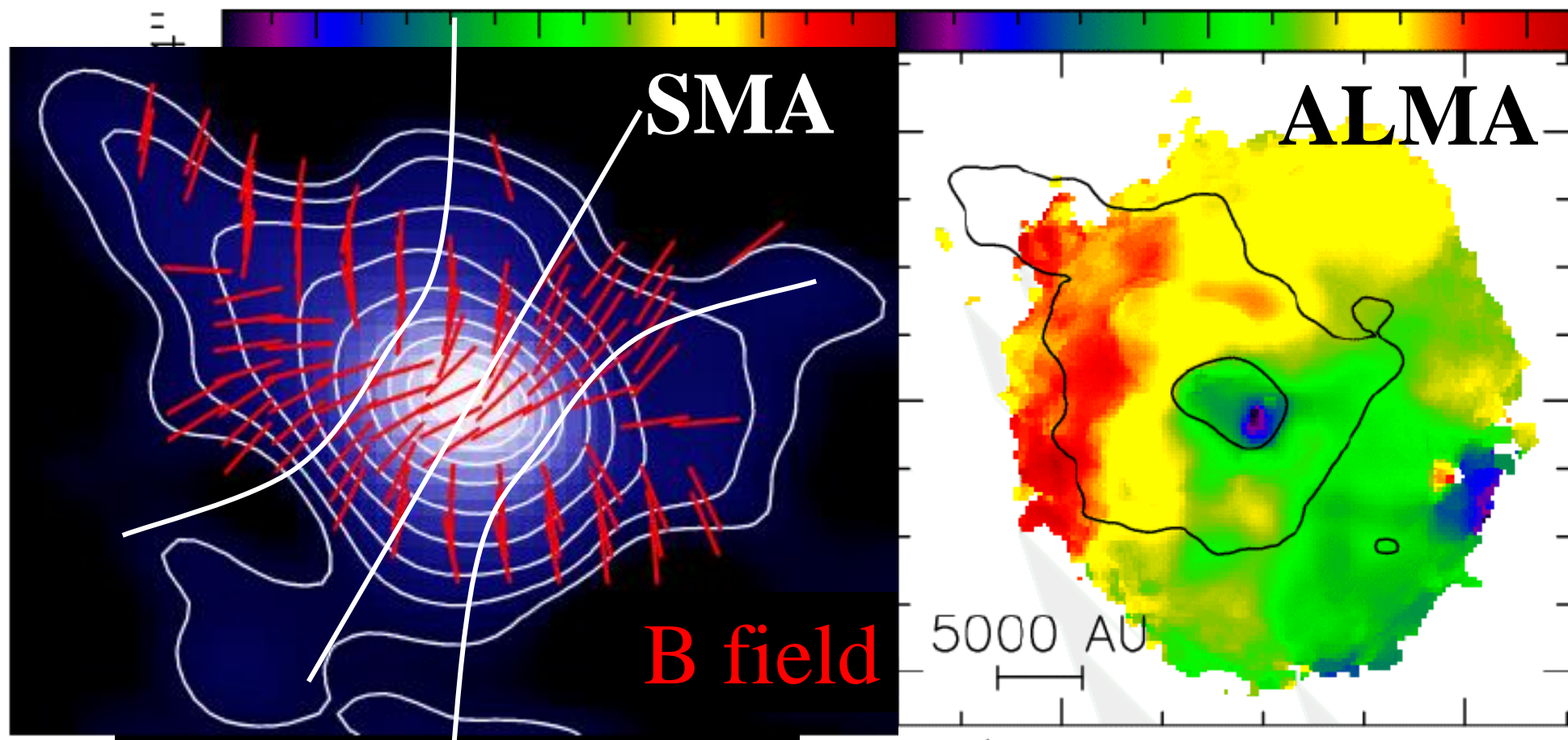
0

50

100

95

100



Progetto **ALMA** Cycle 3 (Beltran et al.) per misurare la polarizzazione ad alta risoluzione

## Ruolo di B in dischi ancora non chiaro:

- Permette lancio di **venti/jets** 😊  
(*effetto magnetocentrifugo*)
- Permette generazione di **turbolenza** →  
accrescimento 😊  
(*instabilità magnetorotazionale*)
- Inibisce la **rotazione** e la **frammentazione** del  
disco 😞  
(*frenamento magnetico*) *catastrofico*)

# Progetti futuri

Principali interrogativi sulla **formazione stelle OB**:

- Ruolo **campo magnetico**? → risoluzione (mas) + polarizzazione → **ALMA, NOEMA**
- Stelle singole o **sistemi multipli**? → NIR, MIR → **E-ELT, JWST**
- Stelle o *protostelle*? → **HII region** o **jet**? → cm → **SKA, ngVLA**

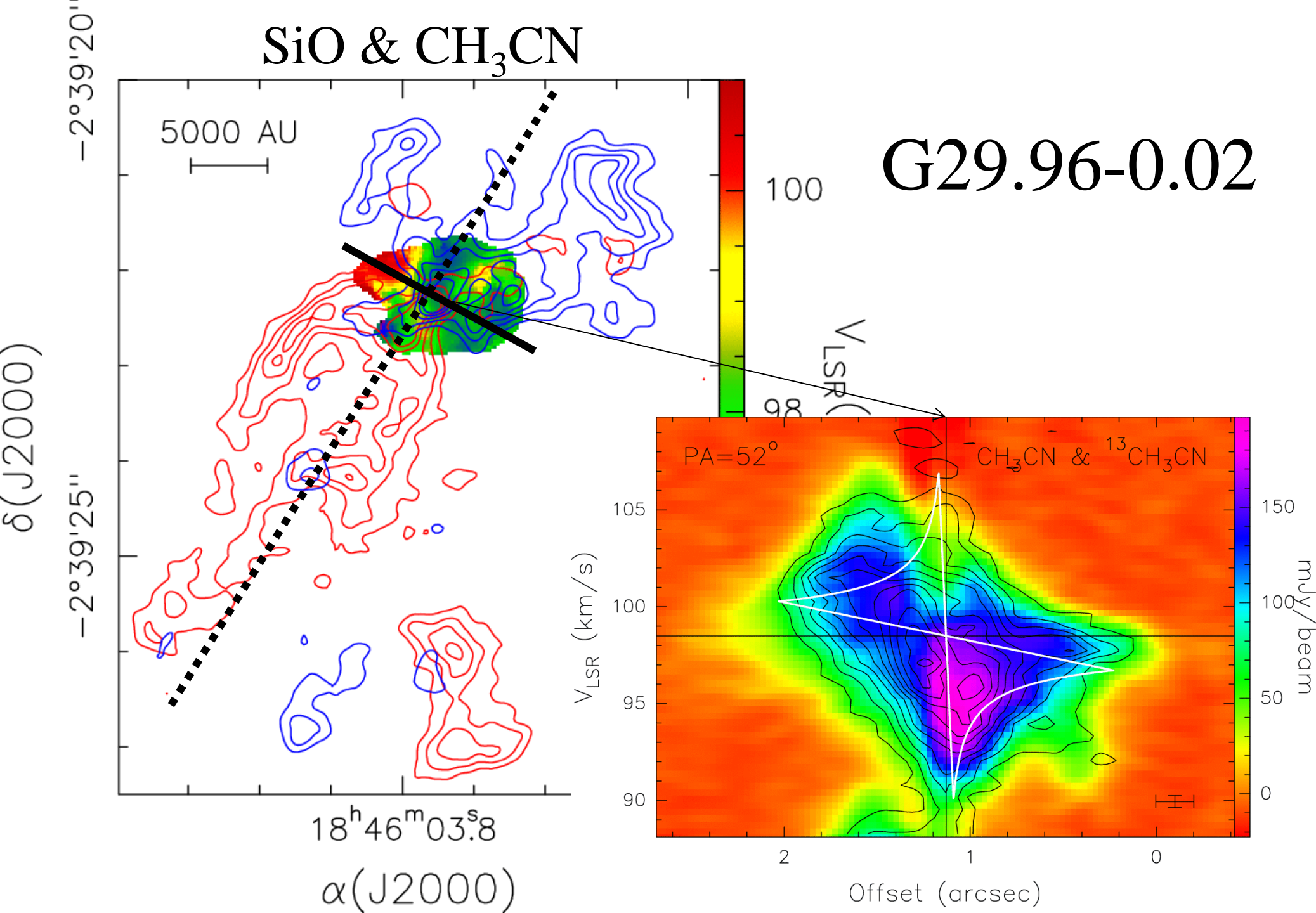


# Progetti futuri

Principali interrogativi sulla **formazione stelle OB**:

- Ruolo **campo magnetico**? → risoluzione (mas) + polarizzazione → **ALMA, NOEMA**
- Stelle singole o **sistemi multipli**? → NIR, MIR → **E-ELT, JWST**
- Stelle o *protostelle*? → **HII region** o **jet**? → cm → **SKA, ngVLA**





# Ipotesi:

$$\text{HPBW} = R_{\text{disk}}/4$$

$$\text{FWHM}_{\text{line}} = V_{\text{rot}}(R_{\text{disk}})$$

$$M_{\text{disk}} \propto M_{\text{star}}$$

$$\langle N_{\text{col}} \rangle = \text{cost.}$$

$$T_{\text{B}} > 20 \text{ K}$$

$$\nu = 230 \text{ GHz}$$

5 ore ON-source

$$\text{risol. spett.} = 0.2 \text{ km/s}$$

$$S/N = 20$$

