

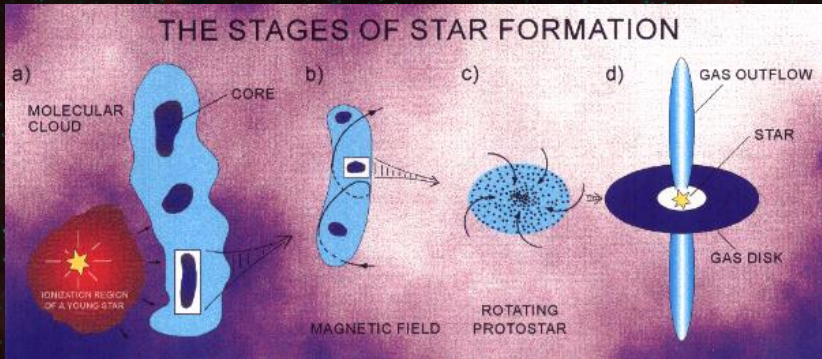
Астрохимическое исследование межзвездного волокна WB 673

Рябухина О.Л.^{1,2}, Кирсанова М.С.¹

¹Институт астрономии РАН

²Институт прикладной физики РАН

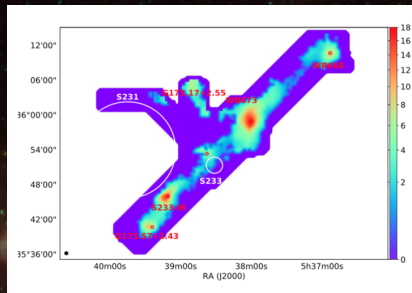
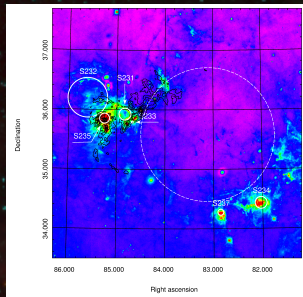
9 октября 2019.г



Оглавление

- 1 Введение
- 2 Наблюдательные данные
- 3 Анализ данных
 - Линии со сверхтонким расщеплением
 - Расчет лучевых концентраций
 - Оптически толстые линии
- 4 Результаты наблюдений
 - Лучевые концентрации в пике WB 673
 - Карты излучения молекул
 - Лучевая концентрация водорода
 - Лучевые концентрации молекул в сгустках
 - Обилие молекул в сгустках
- 5 Заключение

Работа посвящена изучению молекулярного волокна WB-673 в радиолиниях молекул CO, CS, N₂H⁺, HCN, HNC. Эта область входит в гигантское молекулярное облако G174+2.5 и находится на границе большой оболочки, видимой в ИК.



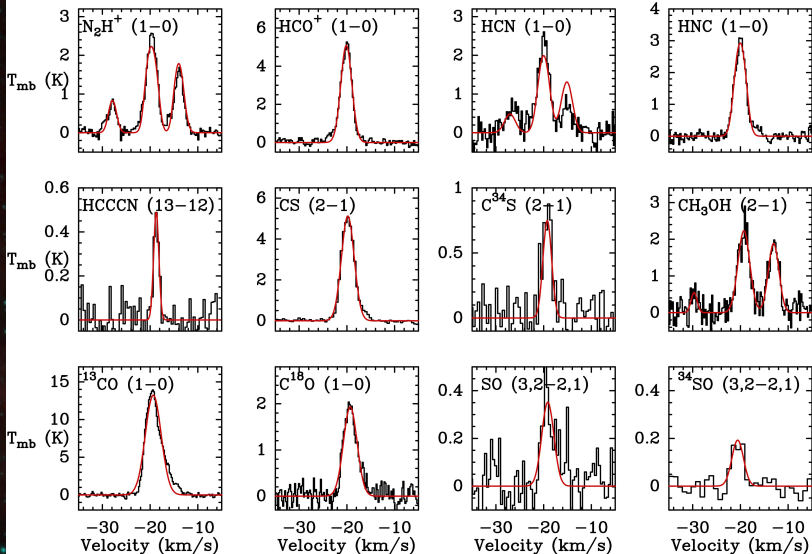
Слева: области S231-S237, WISE, 22 μ m. Черные контуры - излучение ¹³CO FCRAO [Ladeyschikov et al., 2016]. Белые круги - оптические области H II каталога Sharpless [Sharpless, S., 1959]. Справа: нулевой момент линии CS (2-1) [Kirsanova et.al., 2017]

Оглавление

- 1 Введение
- 2 Наблюдательные данные
- 3 Анализ данных
 - Линии со сверхтонким расщеплением
 - Расчет лучевых концентраций
 - Оптически толстые линии
- 4 Результаты наблюдений
 - Лучевые концентрации в пике WB 673
 - Карты излучения молекул
 - Лучевая концентрация водорода
 - Лучевые концентрации молекул в сгустках
 - Обилие молекул в сгустках
- 5 Заключение

Наблюдения на телескопе Onsala, 2017 год, частота 90-110 ГГц.
 Линии, зарегистрированные в направлении на центральный сгусток
 WB 673:

Линия	Переход	Частота, МГц
HCN	1-0	88631.8473
HCO ⁺	1-0	89188.526
HNC	1-0	90663.574
N ₂ H ⁺	1-0	93173.777
C ³⁴ S	2-1	96412.950
CH ₃ OH	2-1	96741.377
³⁴ SO	2,3-1,2	97715.401
CS	2-1	97980.953
H ₂ CS	3(1,2)-2(1,1)	104617.109
SO	3,2-2,1	109252.212
C ¹⁸ O	1-0	109782.176
HCCCN	12-11	109173.638
¹³ CO	1-0	110201.354



Оглавление

- 1 Введение
- 2 Наблюдательные данные
- 3 Анализ данных
 - Линии со сверхтонким расщеплением
 - Расчет лучевых концентраций
 - Оптически толстые линии
- 4 Результаты наблюдений
 - Лучевые концентрации в пике WB 673
 - Карты излучения молекул
 - Лучевая концентрация водорода
 - Лучевые концентрации молекул в сгустках
 - Обилие молекул в сгустках
- 5 Заключение

Для исследования сверхтонкой структуры молекул $\text{HCN}(1-0)$, $\text{HNC}(1-0)$ и $\text{N}_2\text{H}^+(1-0)$ был использован метод HFS пакета Class [S. Maret et al., 2011]

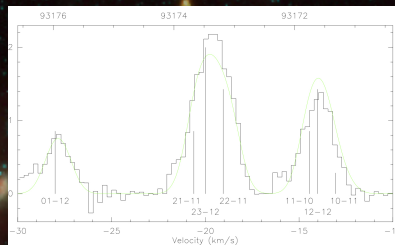
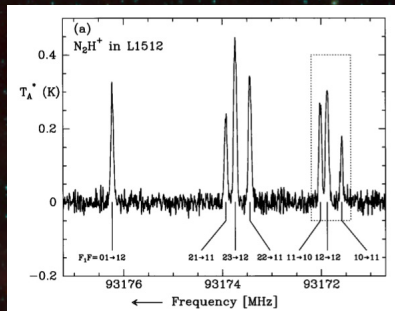


Рис.: [P. Caselli et al., 1995]

В большинстве плотных сгустков из волокна линии оптически тонкие

Были посчитаны лучевые концентрации молекул $C^{18}O$, CS , HNC , HCN , N_2H^+ , SO , $HCCCN$. Для оптически тонких линий использована формула 32 из работы [Mangum & Shirley, 2015]:

$$N_{tot} = \left(\frac{3h}{8\pi^3 S \mu^2} \right) \left(\frac{Q_{rot}}{g_J g_K g_I} \right) \frac{\exp(\frac{E_u}{kT_{ex}})}{\exp(\frac{h\nu}{kT_{ex}}) - 1} \int \frac{T_R dv}{f(J_V(T_{ex}) - J_V(T_{bg}))} \quad (1)$$

$$J_V(T) = \frac{h\nu/k}{\exp \frac{h\nu}{kT} - 1} \quad (2)$$

где h - постоянная Планка, $S = J_u/2J_u+1$, μ - дипольный матричный момент, Q_{rot} - вращательная функция распределения, $g_J = 2J+1$ - вращательная вырожденность, g_K - K-вырожденность, g_I - вырожденность ядерного спина, $J_V(T)$ - эквивалентная температура Рэля-Джинса. Для линейных молекул $g_K = g_I = 1$, для двуатомных линейных молекул $Q_{rot} \approx \frac{kT}{hB} + \frac{1}{3}$, где B - вращательная постоянная, E_u - энергия верхнего уровня. Дипольные моменты и вращательные постоянные для молекул лежат в каталоге <https://spec.jpl.nasa.gov>. Температура возбуждения T_{ex} везде принята $T=20K$.

Линии CS (2–1) и SO(3–2) не являются оптически тонкими [Mangum & Shirley, 2015]:

$$N_{\text{tot}} = N_{\text{tot}}^{\text{thin}} \frac{\tau}{1 - \exp(-\tau)} \quad (3)$$

$$\frac{T(\text{CS})}{T(\text{C}^{34}\text{S})} = \frac{1 - \exp(-\tau)}{1 - \exp(-\tau/\alpha)} \quad (4)$$

где α - отношение обилий $^{32}\text{S}/^{34}\text{S} \simeq 22.5$. Отсюда было найдено $\tau(\text{CS}) = 3.36$, $\tau(\text{SO}) = 17.56$

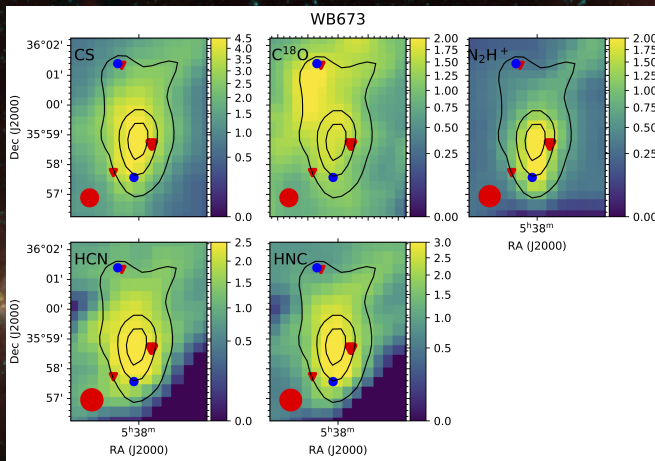
Оглавление

- 1 Введение
- 2 Наблюдательные данные
- 3 Анализ данных
 - Линии со сверхтонким расщеплением
 - Расчет лучевых концентраций
 - Оптически толстые линии
- 4 Результаты наблюдений
 - Лучевые концентрации в пике WB 673
 - Карты излучения молекул
 - Лучевая концентрация водорода
 - Лучевые концентрации молекул в сгустках
 - Обилия молекул в сгустках
- 5 Заключение

Лучевые концентрации линий в направлении пика излучения CS в сгустке WB 673. Для расчета лучевой концентрации CO из лучевой концентрации C¹⁸O было использовано отношение изотопов $^{16}\text{O}/^{18}\text{O} = 557 \pm 30$ [Wilson T.L., 1999]

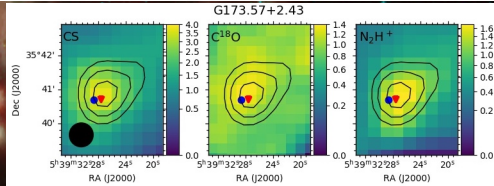
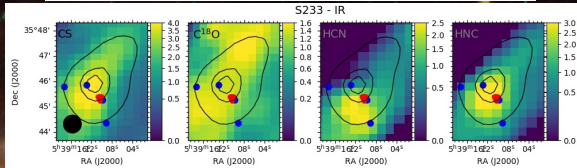
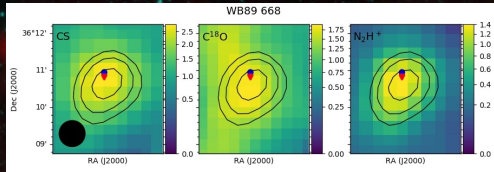
Линия, переход	Частота, ГГц	μ , Д	ν , ГГц	$\int T_{\text{R}} dv$, км/с	N , см ⁻²
C ¹⁸ O (1-0) (CO)	109.782	0.11	54.90	6.5	$5.5 \cdot 10^{18}$
N ₂ H ⁺ (1-0)	93.173	3.4	46.59	13.0	$2.3 \cdot 10^{13}$
HCN (1-0)	88.631	2.99	44.32	7.9	$2.5 \cdot 10^{13}$
HNC (1-0)	90.663	3.05	45.33	8.9	$2.2 \cdot 10^{13}$
CS (2-1)	97.980	1.96	24.49	17.3	$3.5 \cdot 10^{14}$
HCCCN (12-11)	90.663	3.72	4.55	0.5	$2.1 \cdot 10^{14}$
SO (3-2)	97.980	1.96	21.52	1.2	$2.6 \cdot 10^{12}$

Распределение интенсивностей излучения молекул CS, CO, N₂H⁺, HNC, HCN в центральном сгустке WB 673

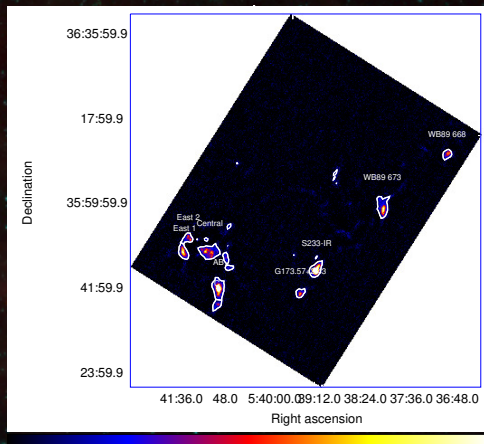


Введение
Наблюдательные данные
Анализ данных
Результаты наблюдений
Заключение

Лучевые концентрации в пике WB 673
Карты излучения молекул
Лучевая концентрация водорода
Лучевые концентрации молекул в сгустках
Обилия молекул в сгустках



Лучевая концентрация водорода была получена по данным Bolocam Galactic Plane Survey на $\lambda = 1.1$ мм [J. Bally et al., 2010]

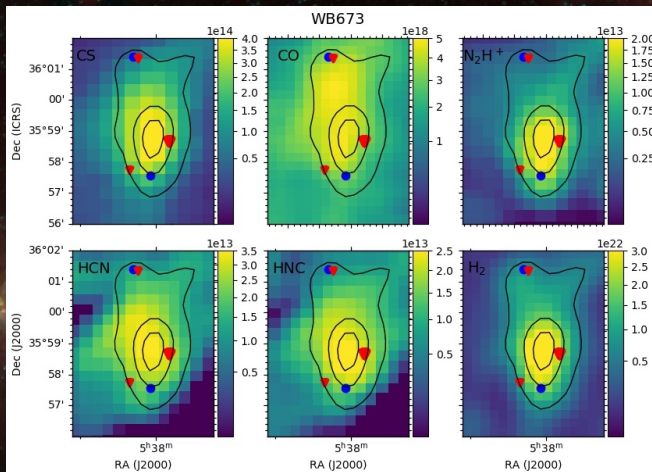


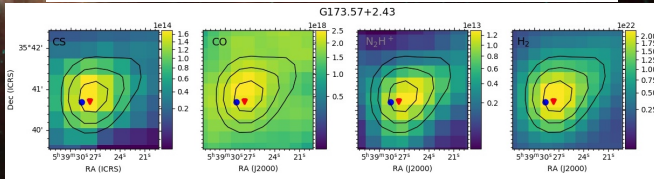
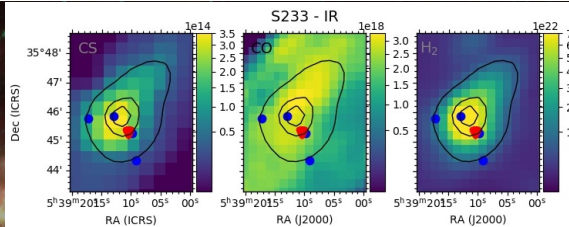
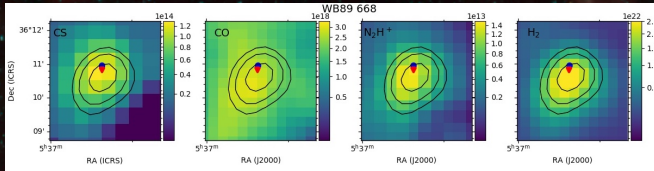
$$M = \frac{10^{-23} S_{1.1} D^2}{\kappa_{1.1} B_{1.1}(T_d)} g,$$

$$N(\text{H}_2) = \frac{M}{S \mu_{\text{H}_2} m_{\text{H}}} \text{sm}^{-2}.$$

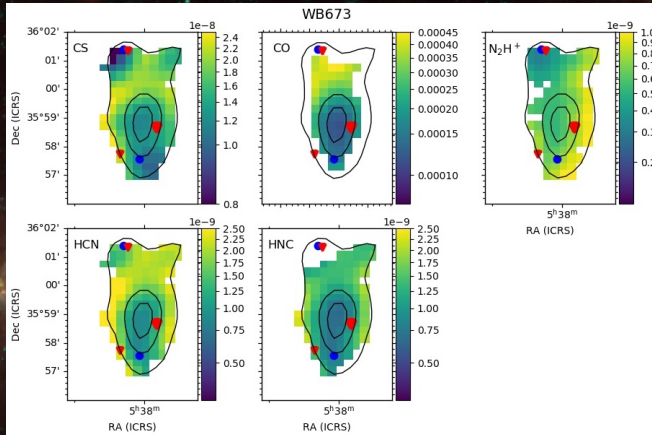
$$S = \pi \left(\text{tg} \frac{\text{FWHM}}{\sqrt{4 \ln 2} \cdot 206265} \times D \right)^2$$

Распределение лучевой концентрации CS, CO, N₂H⁺, HNC, HCN и H₂ в центральном сгустке WB 673



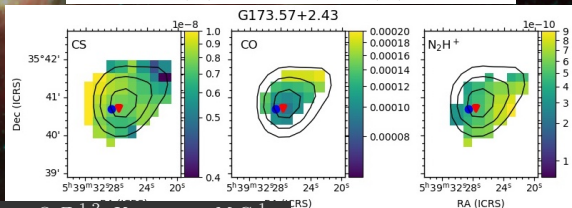
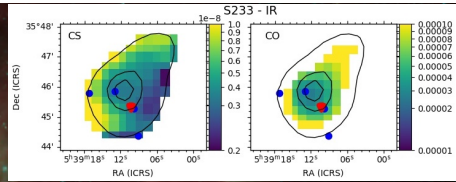
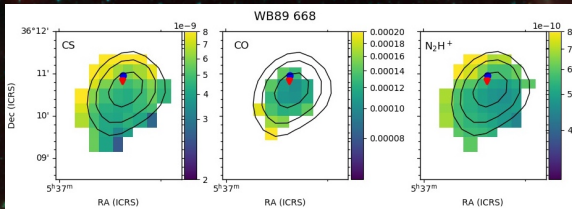


Распределение обилий молекул CS, CO, N₂H⁺, HNC, HCN и H₂ в центральной сгустке WB 673



Введение
Наблюдательные данные
Анализ данных
Результаты наблюдений
Заключение

Лучевые концентрации в пике WB 673
Карты излучения молекул
Лучевая концентрация водорода
Лучевые концентрации молекул в сгустках
Обилия молекул в сгустках



Оглавление

- 1 Введение
- 2 Наблюдательные данные
- 3 Анализ данных
 - Линии со сверхтонким расщеплением
 - Расчет лучевых концентраций
 - Оптически толстые линии
- 4 Результаты наблюдений
 - Лучевые концентрации в пике WB 673
 - Карты излучения молекул
 - Лучевая концентрация водорода
 - Лучевые концентрации молекул в сгустках
 - Обилие молекул в сгустках
- 5 Заключение

Заключение:

- Проведен анализ сверхтонкой структуры линий N_2H^+ , HCN, HNC; показано, что они оптически тонкие
- Определены лучевые концентрации молекул CS, CO, HNC, HCN, HCCCN, SO, N_2H^+ в направлении центрального сгустка WB 673
- Получены карты лучевой концентрации водорода по данным Bolocam Galactic Plane Survey на $\lambda = 1.1$ мм
- Показано распределение лучевой концентрации CS, CO, N_2H^+ , HCN, HNC в плотных сгустках волокна
- Получено пространственное распределение обилий CS, CO, N_2H^+ , HCN, HNC