

СЛОЖНЫЕ МОЛЕКУЛЫ В НАПРАВЛЕНИИ V645 Cyg

А. Д. Гималиева¹, С. В. Салий¹, М. С. Кирсанова^{2,3}

¹Уральский федеральный университет, ²Институт астрономии РАН, ³Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

С использованием метода вращательных диаграмм были получены оценки вращательной температуры и лучевых концентраций молекул метанола CH₃OH и пропина CH₃CCH в направлении звезды типа Ae/Be Хербига V645 Cyg.

COMPLEX MOLECULES TOWARDS V645 Cyg

A. D. Gimalieva¹, S. V. Salii¹, M. S. Kirsanova^{2,3}

¹Ural Federal University, ²Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, ³Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)

We obtained rotation temperatures and column densities of methanol CH₃OH and propine CH₃CCH towards Herbig Ae/Be star V645 Cyg using rotation diagrams.

Введение

Звезды типа Ae/Be Хербига — это молодые (≤ 10 млн лет) звезды до главной последовательности с массами, равными примерно 2–10 M_{\odot} , хорошо видимые в оптическом диапазоне и имеющие спектры, типичные для звезд спектральных классов A и B. Характерными признаками таких звезд также являются наличие эмиссионных линий и избыток ИК-излучения. Последнее говорит о наличии околзвездного вещества и остатков родительского молекулярного облака вокруг них. Исследование молекулярного газа в направлении объектов такого типа позволяет связать представления о химической эволюции массивных и маломассивных протозвезд, поскольку звезды типа Ae/Be Хербига лежат в промежуточном диапазоне масс.

Объектом нашего исследования является молодая звезда типа Ae/Be Хербига V645 Cyg с экваториальными координатами на эпоху J2000: $\alpha = 21^{\text{h}} 39^{\text{m}} 58^{\text{s}}.278$; $\delta = +50^{\circ} 14' 21''.003$. Анализ излучения V645 Cyg, описанный в работах [1] и [2], показал, что в оптическом диапазоне эта звезда имеет спектр, характерный для звезд своего типа. Ранее было предположено, что присутствие в спектре звезды смещенных в синюю область линий запрещенных переходов [SII] свидетельствует о наличии плотного околзвездного диска, скрывающего удаляющееся биполярное истечение вокруг звезды [2].

Поскольку звезды такого типа имеют избыток инфракрасного излучения из-за наличия у них пылевой оболочки, V645 Cyg активно наблюдалась в ближнем ИК-диапазоне [3–5]. Также в этом объекте обнаружены водяные мазеры и метанольные мазеры II класса [6]. Наблюдаемое смещение линий поглощения HeI, HI, OI, CaII показало, что в звезде происходит отток вещества со скоростью до 1 000 км/с, который содержит в себе как нейтральный, так и ионизованный водород [7].

Наблюдения и методы исследования

Наблюдения были проведены в марте 2019 г. на 20-м телескопе Онсала (Швеция). Представленные в нашей работе результаты являются частью обзора V645 Cyg на длинах волн 3 и 4 мм.

Для определения характеристик молекулярного газа было использовано предположение о локальном термодинамическом равновесии (ЛТР), поскольку сложные молекулы образуются и излучают в молекулярных облаках с высокой плотностью. Для анализа был использован метод вращательных диаграмм, подробно описанный, например, в работе [8].

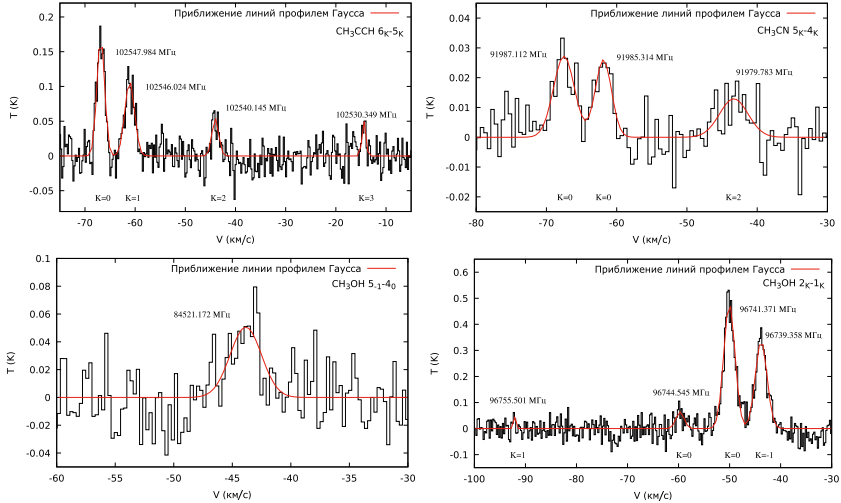


Рис. 1. Спектры линий молекул CH_3CCH , CH_3CN , CH_3OH в V645 Cyg. Красная линия — приближение профилем Гаусса

Согласно данному методу в условиях ЛТР для оптически тонких линий населенности энергетических уровней определяются так называемой вращательной температурой T_{rot} согласно следующему равенству:

$$\ln \frac{N_u}{g_u} = \ln \frac{3kW}{8\pi^3\nu_0 S \mu^2} = \ln \frac{N}{Q} - \frac{E_u}{kT_{rot}}, \quad (1)$$

где N — лучевая концентрация молекулы; N_u — лучевая концентрация на верхнем уровне; $Q = \sum_i e^{-\frac{E_i}{kT}}$ — вращательная статистическая сумма.

Из (1) видно, что теоретически вращательная диаграмма должна представлять собой прямую, тангенс угла наклона которой равен $-\frac{1}{T_{rot}}$, а ордината точки пересечения этой прямой с осью, по которой откладывается $\ln \frac{N_u}{g_u}$, должна быть равна $\ln \frac{N}{Q_{rot}}$. Таким образом, при помощи этого метода можно оценить значения вращательной температуры T_{rot} и лучевой концентрации N .

Результаты

В спектре V645 Cyg были отождествлены линии трех молекул — CH_3CCH (102 529–102 548 МГц), CH_3CN (91 979–91 988 МГц) и CH_3OH (84 521 МГц, 96 738–96 756 МГц), приближение которых профилем Гаусса представлено на рис. 1.

Для молекулы CH_3CCH было отождествлено четыре линии из серии $6_k - 5_k$. По этим линиям была построена вращательная диаграмма, представленная на рис. 2.

В спектре V645 Cyg были отождествлены три линии из серии переходов $5_k - 4_k$ молекулы CH_3CN . Для перехода $5_2 - 4_2$ (91 979 МГц) может наблюдаться сверхтонкое расщепление на несколько компонент [9], приближения которых сложно получить из-за их блендирования вследствие недостаточного спектрального разрешения. Поэтому для линий CH_3CN вращательная диаграмма не строилась.

Для молекулы CH_3OH в спектре были отождествлены четыре линии из серии $2_k - 1_k$ ($E_u < 30$ К), а также линия перехода $5_{-1} - 4_0$ ($E_u = 40$ К). Мы построили два варианта вращательной диаграммы — с включением линии $5_{-1} - 4_0$ и без. На вращательных диаграммах видно существенное ($> 2\sigma$) отклонение наблюдаемых значений всех рассматриваемых линий от приближения ЛТР (рис. 2).

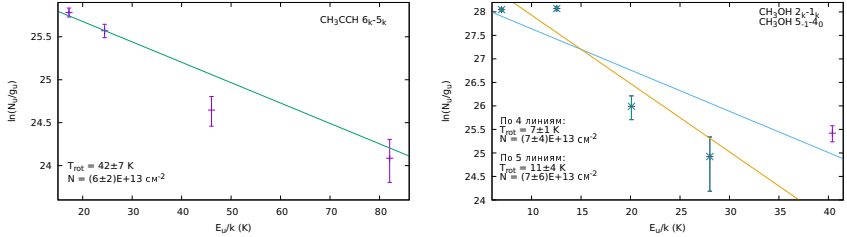


Рис. 2. Вращательная диаграмма, построенная по серии линий CH_3CCH (слева), вращательные диаграммы, построенные по линиям CH_3OH (справа): желтая прямая — по четырем линиям, голубая прямая — по пяти

Вращательные температуры (T_{rot}) и лучевые концентрации молекул (N) в молекулярном облаке, окружающем звезду V645 Cyg

	T_{rot} , K	N , cm^{-2}
CH_3CCH	42 ± 7	$(6 \pm 2) \cdot 10^{13}$
CH_3OH (по пяти линиям)	11 ± 4	$(7 \pm 6) \cdot 10^{13}$

Оценка вращательной температуры, полученная из диаграммы для линий CH_3CCH (см. таблицу) в пределах погрешности совпадает с оценкой температуры пыли 38 К, приведенной в работе [10], что говорит об адекватности использованного предположения о ЛТР в качестве модели возбуждения молекулы CH_3CCH .

Значение T_{rot} , полученное по линиям CH_3OH с $E/k < 50$ К, можно использовать только в качестве нижней оценки кинетической температуры.

Работа М. С. Кирсановой (анализ пространственно-кинематической структуры в радиолниях молекул) поддержана грантом РНФ 18-72-10132. Работа С. В. Салий (обсуждение результатов) выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0030.

Библиографические ссылки

- [1] *Goodrich Robert W.* V645 Cygni and the Duck Nebula // *Astrophys. J.* — 1986. — Vol. 311. — P. 882.
- [2] *Hamann F. W., Persson S. E., McGregor P. J.* The Circumstellar Disk and Bipolar Outflow of V645 Cygni // *Bulletin of the American Astronomical Society.* — 1988. — Vol. 20. — P. 694.
- [3] *Kelly D. M., Rieke G. H., Campbell B.* Near-Infrared Spectroscopy of Young Stellar Objects // *Astrophys. J.* — 1994. — Vol. 425. — P. 231.
- [4] *Miroshnichenko A. S., Hofmann K. H., Schertl D. et al.* A new spectroscopic and interferometric study of the young stellar object V645 Cygni // *Astron. Astrophys.* — 2009. — Vol. 498, № 1. — P. 115–126. 0904.1822.
- [5] *Murakawa K., Lumsden S. L., Oudmaijer R. D. et al.* NIR integral field spectroscopy of high mass young stellar objects // *Molecular Gas, Dust, and Star Formation in Galaxies* / ed. by Tony Wong, Jürgen Ott. — 2013. — Vol. 292. — P. 53–53.
- [6] *Val'tts I. E., Slysh V. I., Voronkov M. A., Migenes V.* A Protoplanetary Disk in V645 Cyg As Seen with H₂O and Methanol Masers // *International Astronomical Union Colloquium.* — 2002. — Vol. 187. — P. 279–284.
- [7] *Hamann F., Persson S. E.* High-Resolution Spectra of the Luminous Young Stellar Object V645 Cygni // *Astrophys. J.* — 1989. — Vol. 339. — P. 1078.
- [8] *Kalenskii S. V., Kurtz S.* Analytical methods for measuring the parameters of interstellar gas using methanol observations // *Astronomy Reports.* — 2016. — Vol. 60, № 8. — P. 702–717. 1710.07605.
- [9] *Guzmán V., Pety J., Gratier P. et al.* The IRAM-30m line survey of the Horsehead PDR. I. CF⁺ as a tracer of C⁺ and as a measure of the fluorine abundance // *Astron. Astrophys.* — 2012. — Vol. 543. — P. L1. 1206.0403.
- [10] *Sandell Göran, Weintraub David A., Hamidouche Murad.* A Submillimeter Mapping Survey of Herbig AeBe Stars // *Astrophys. J.* — 2011. — Vol. 727, № 1. — P. 26. 1011.3747.