

## Эффективная температура, металличность и отношение C/O в атмосфере TU Gem

Г.А. Полиновский, Я.В. Павленко, М.К. Кузнецов

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Заболотного 27, Киев-127, Украина, 03680  
greg@mail.mao.kiev.ua

Поступила в редакцию 19 декабря 2012 г.

**Аннотация.** Обсуждается методика и результаты определения эффективной температуры, металличности и отношения C/O в атмосфере углеродной звезды TU Gem. Использованный нами метод базируется на моделировании распределений энергии в спектрах углеродных звезд и сравнения их с наблюдаемыми потоками. Нами использованы два наблюдательных распределения энергии в оптическом и ближнем ИК-диапазоне (от 400 до 720 нм), полученные (Барнбаум и др., 1996) с разрешающей способностью  $R \sim 600$  и спектр (Танака и др., 2007), имеющий  $R \sim 2600$  для ИК-диапазона (от 910 до 2440 нм).

EFFECTIVE TEMPERATURE, METALLICITY AND C/O IN THE TU GEM ATMOSPHERE, by G. Polinovskyi, Ya. V. Pavlenko, M. Kuznetsov. In the present work we discuss methods and results of estimation of effective temperature, metallicity and C/O ratio for the carbon star TU Gem. The method is based on modelling of the energy distribution in spectra of the carbon stars and comparison with observable fluxes. We used two observational data sets: optical and near infrared range low-dispersion spectrum (400–720 nm) with resolution of  $R \sim 600$  (Barnbaum et al., 1996) and infrared range low-dispersion spectrum (910–2440 nm) with resolution of  $R \sim 2600$  (Tanaka et al., 2007).

**Ключевые слова:** синтетические спектры, углеродные звезды, модели атмосфер

---

Углеродные звезды дают много информации о поздних эволюционных стадиях звезд средних масс. Феномен углеродных звезд достаточно редок и недостаточно изучен, теоретическое моделирование их спектров сталкивается с рядом проблем (см. Яковина и др., 2011). Очень важным моментом в моделировании этих звезд является корректный учет химического состава их атмосфер и определение эффективных температур.

TU Gem классифицирована как углеродная звезда CV4 со светимостью  $L/L_{\odot} = 11\,000$ , болометрической звездной величиной  $M_{bol} = -5.4$  и радиальной скоростью  $V_r = +39$  км/с. Расстояние по разным данным от 330 до 1200 пк.

Данные об отношении C/O, изотопном вкладе углерода и эффективной температуре определялись несколькими группами исследователей с использованием различных методик (см. табл. 1).

В данной работе для исследования TU Gem были использованы наблюдательные распределения энергии в оптическом и ближнем ИК-диапазоне (от 400 до 720 нм) с разрешающей способностью  $R \sim 600$  (Барнбаум и др., 1996) и низкодисперсный спектр (Танака и др., 2007), имеющий  $R \sim 2600$  для ИК-диапазона (от 910 до 2440 нм).

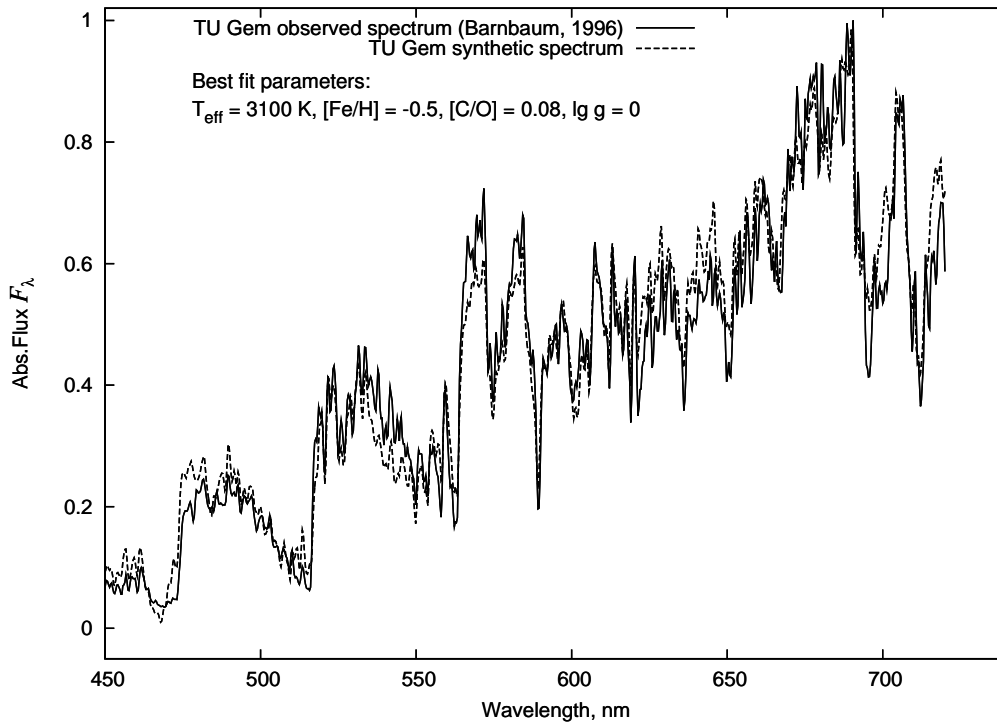


Рис. 1. Наилучший результат подгонки для спектра Барнбаум 1

Для этих спектров было учтено межзвездное покраснение и соответственно исправлены наблюдаемые распределения энергии. Для этого использовалась процедура “Deredden Spectrum” модуля “spectool” для пакета IRAF (<http://iraf.noao.edu/projects/spectroscopy/spectool/spectool.html>). Параметр экстинкции  $A_V$  был принят равным 1.84, исходя из данных калькулятора межзвездного покраснения DUST (<http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/>) в направлении звезды TU Gem.

Модель атмосферы для TU Gem рассчитывалась по программе SAM12 (Павленко, 2003; Павленко, Яковина, 2009). Она предназначена для расчета моделей атмосфер красных гигантов в классических приближениях и позволяет рассчитывать модели атмосфер для звезд с заданным химическим составом. Для углеродных звезд учитываются специфические источники непрозрачности в их атмосферах.

Эффективные температуры для расчета сетки моделей атмосфер мы выбирали на основании приведенных в табл. 1 оценок  $T_{eff}$  из литературы. Информация о химическом составе TU Gem была использована из работ, представленных в табл. 1. Таким образом, была посчитана сетка моделей атмосфер для данной звезды:  $T_{eff}$  бралась в диапазоне от 2600 до 3400 К с шагом в 100 К, отношение [C/O] бралось равным от 0.02 до 0.3, металличность от +1.5 до -1.5 (относительно солнечной) с шагом 0.5,  $lg g$  бралось равным 0, 0.5 и 1.0. Мы приняли для TU Gem типичное для углеродных гигантов значение микротурбулентной скорости  $V_t = 2$  км/с.

Синтетические спектры рассчитывались в рамках классических приближений с помощью программы WITA6 (Павленко, 1997). Для сравнения с наблюдениями синтетические спектры сворачивались с гауссианой, которая использовалась для моделирования влияния инструментального уширения и макротурбулентности. Для того, чтобы определить параметры максимально близкой подгонки, мы сравнивали наблюдаемый поток  $F_\nu$  с посчитанным.

Нами была посчитана 4-мерная сетка синтетических спектров с такими параметрами:  $T_{eff}$ , [C/O], [Fe/H] и  $lg g$ . Результат подгонки теоретических и рассчитанных спектров зависит в основном

**Таблица 1.** Основные параметры TU Gem по данным других работ

[C/O]	$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$	$T_{eff}$ , К	Работа
1.29	—	—	Гоу, 1977
1.12	59	2770	Ламберт и др., 1986
1.4	—	—	Эглитис, 1989
1.11	10 (26, IR)	2800	Киппер и др., 1996
—	—	2715	Бергит и др., 2001
—	—	3162±107	Ричичи, Чендрасекар, 2006
—	—	3000	Танака и др., 2007

от  $T_{eff}$ , зависимость от  $\lg g$ , металличности менее выражена. Мы оценили погрешность определения всех искомых параметров. Наилучший результат подгонки для обеих областей спектра – при  $T_{eff} = 3100 \pm 100$  К, этот результат слабо изменяется при варьировании других параметров. Такое значение эффективной температуры для TU Gem хорошо согласуется с последними данными других авторов (см. табл. 1). Далее, наши оценки остальных параметров находятся в пределах:  $\lg g = 0.0 \pm 1.0$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.0 \pm 1.0$ , что также не противоречит известным результатам других авторов. Отношение [C/O] не может быть хотя бы приближенно оценено, для этого необходимы наблюдательные данные с большим разрешением.

На рис. 1 показан результат наилучшей подгонки для спектра Барнбаум. Наилучший результат подгонки припадает на модель атмосферы с такими параметрами:  $T_{eff} = 3100 \pm 100$  К,  $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.5$ ,  $[\text{C}/\text{O}] = 0.08$ ,  $\lg g = 0$ . Для спектра Танаки подгонка дает следующие параметры модели, наиболее лучшим образом описывающая этот участок спектра:  $T_{eff} = 3100 \pm 100$  К,  $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.5$ ,  $[\text{C}/\text{O}] = 0.12$ ,  $\lg g = 0$ .

**Благодарности.** Автор выражает благодарность Л.А. Яковиной за ценные советы в ходе выполнения данной работы. Работа выполнялась при поддержке грантов FP7 POSTABGin GALAXIES (No. 269193) и ROPACS (GA No. 213646).

## Литература

- Барнбаум и др. (Barnbaum C., Stone R.P.S., Keenan P. C.) // *Astroph. J. Suppl. Ser.* 1996. V. 105. P. 419.
- Бергит и др. (Bergeat J., Knapik A., Rutily B.) // *Astron. Astrophys.* 2001. V. 369. P. 178.
- Гоу (Gow C.E.) // *Pub. Astron. Soc. Pacific.* 1977. V. 89. P. 510.
- Киппер и др. (Kipper T., Jørgensen U.G., Klochkova V.G., Panchuk V.E.) // *Astron. Astrophys.* 1996. V. 306. P. 489.
- Ламберт и др. (Lambert D.L, Gustafsson B., Eriksson K., Hinkle K.H.) // *Astroph. J. Suppl. Ser.* 1986. V. 62. P. 373.
- Павленко (Pavlenko Ya.V.) // *Astron. Rep.* 2003. V. 47. P. 59.
- Павленко, Яковина (Pavlenko Ya.V., Yakovina L.A.) // *Kinem. Phys. Cel. Bodies.* 2009. V. 25. P. 302.
- Павленко (Pavlenko Ya.V.) // *Astrophys. Space Sci.* 1997. V. 253. P. 43.
- Ричичи, Чендрасекар (Richichi A., Chandrasekhar T.) // *Astron. Astrophys.* 2006. V. 451. P. 1041.
- Танака и др. (Tanaka M., Letip A., Nishimaki Y.) // *Publ. Astron. Soc. Japan.* 2007. V. 59. P. 939.
- Эглитис И. // *Научные информации.* 1989. Т. 67. P. 54.
- Яковина и др. (Yakovina L.A., Pavlenko Ya.V., Abia K., Rozenbush A.E.) // *Kinem. Phys. Cel. Bodies.* 2011. V. 27. P. 26.