СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУРАЗДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ТИПА АЛГОЛЯ (R CMA И TX UMA)

Л. В. Глазунова[1,2], А. В. Ющенко[3], Д. Е. Мкртичян[4]

[1] *Астрономическая обсерватория Одесского национального университета*
Одесса, 65014, Украина
e-mail: lvglazun@gmail.com

[2] *Национальная академия связи им. А. С. Попова*
Одесса, 65089, Украина

[3] *Astrophysical Research Center for the Structure and Evolution of the Cosmos (ARCSEC)*
Sejong University, Seoul, 143-747, Korea
e-mail: ayushchenko@gmail.com

[4] *НИИ Крымская астрофизическая обсерватория*
п. Научный, 98409, Крым, Украина
e-mail: davidm@sejong.ac.kr

Получены спектры высокого разрешения для двух полуразделенных систем R CMa и TX UMa. Применяя технологию LSD (Least Squares Deconvolution) нам удалось впервые надежно разделить спектры компонентов системы R CMa и найти около 20 слабоблендированных линий вторичного компонента. Это позволило заново определить массы компонентов. Масса главного компонента оказалась равной $1.8 \pm 0.2\ M_{\odot}$. Определено содержание 21 химического элемента в спектре главного компонента R CMa. Содержание всех элементов солнечное. Скорости вращения обоих компонентов оказались синхронными с их орбитальной скоростью. По LSD-профилю определены скорости вращения компонентов системы TX UMa (69 ± 3 и 73 км/с). Также для главного компонента этой системы определено содержание 12 химических элементов, линии C, Si и Ni показывают заметный дефицит. В линии H_{α} присутствует слабая эмиссия, свидетельствующая о газовых оболочках и обмене веществом в системе.

R CMa

R CMa (HD 57167) – хорошо исследованная с очень малым отношением масс компонентов (0.17) система с периодом $P = 1.13^d$ и спектральным классом компонентов F0 V+G8 IV. Масса главного компонента $1.1\,M_{\odot}$ [1] приводит к большому избытку светимости и не позволяет смоделировать эволюцию этой системы [2]. Исследование химсостава главного компонента (5 элементов) выявило избыток металлов всего на 0.1 ± 0.1 dex и небольшое отклонения элементов CNO [3].

Один спектр этой системы на орбитальной фазе 0.30 был получен на 2.7-м телескопе обсерватории МакДональд в 2005 г. JD = 2453422.719 со спектральным разрешением $R = 60\,000$ и отношением S/N = 300 на длине волны 5500 Å в спектральном диапазоне 3500–10000 Å. Этот спектр использовался для отождествления линий вторичного компонента и определения химсостава. Два дополнительных спектра R CMa на фазах 0.81 и 0.82 получены в 2008 г. на телескопе 1.8-м обсерватории Бохунсан (Южная Корея) с разрешением $R = 45\,000$ и S/N = 75 на длине волны 5500 Å (весь диапазон 3600–10500 Å).

НОВЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ R CMa

По методике, описанной в статьях [4, 5], по всем линиям спектра получен качественный профиль LSD (Least Square Decomposition). Первые два минимума фурье-разложения этого профиля позволяют получить точное значение скорости вращения, а также информацию о дифференциальности вращения главного компонента. На рис. 1 приведен LSD-профиль и его фурье-разложение, отмечены положения первых минимумов. Вторичный компонент дает очень малый вклад в составной спектр, но надежно определяется, поэтому мы можем по полуширине его LSD-профиля оценить скорость вращения, а также точно определить лучевую скорость. Полученные нами лучевые скорости вторичного компонента, а также известные спектральные элементы орбиты для главного компонента [1], позволили определить амплитуду кривой лучевых скоростей вторичного компонента и получить новые абсолютные параметры компонентов системы (табл. 1). Как видно из рис. 2, новая масса главного компонента $1.81 \pm 0.18\ M_{\odot}$ хорошо согласуется с эволюционными треками и его светимостью, полученной по показателям цвета.

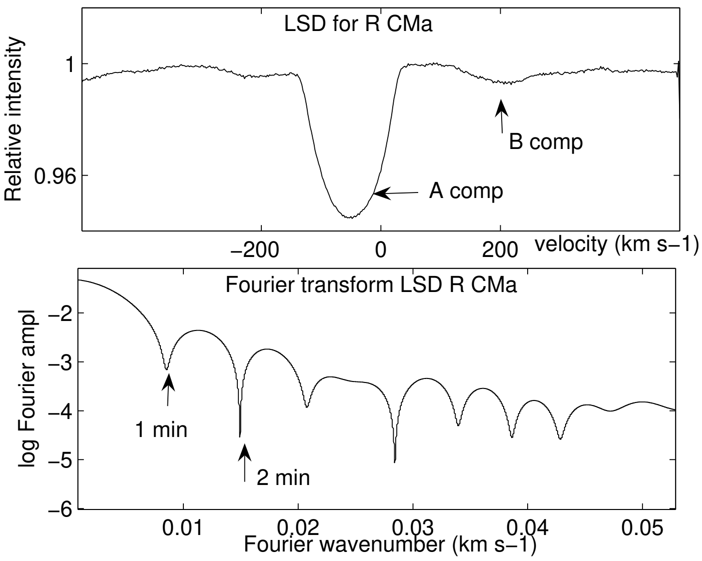

Рис. 1. LSD-профиль и его фурье-разложение для R CMa

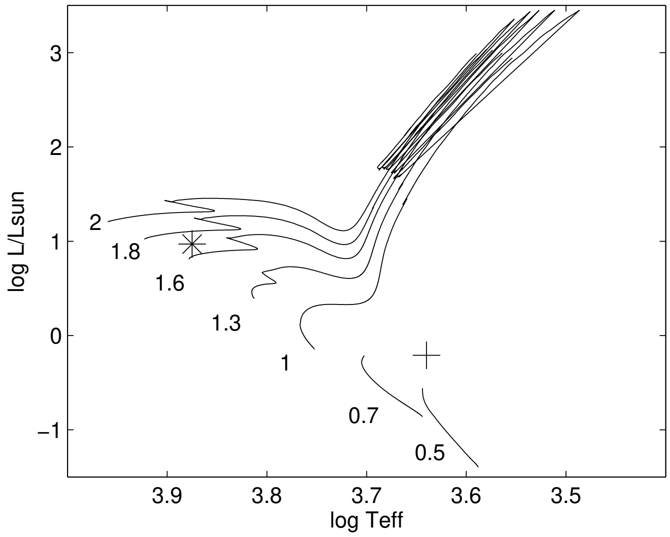

Рис. 2. Положение компонентов системы R CMa на эволюционных треках [11]

Таблица 1. Параметры системы R CMa

Параметры	Главный	Вторичный	Ссылки
i	79.5		[6]
r	0.305±0.002	0.234±0.002	[6]
v_{rot} км/с	77.6±1.5	56±4	эта работа
RV_{hel} км/с	–65.3±0.3	192±3	эта работа
K км/с	29.2±0.9	226±8	[1], эта работа
M ($M_\odot$)	1.81±0.18	0.23±0.01	эта работа
q (M_2/M_1)	0.14		эта работа
A ($R_\odot$)	6.00		эта работа
R ($R_\odot$)	1.83	1.40	эта работа
$\lg g$	4.17	3.51	эта работа

ХИМСОСТАВ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ R CMa

Для расчетов модели главного компонента использовались две температуры – $T_{эф} = 7500 \pm 200$ K [3] и $T_{эф} = 7300 \pm 100$ K, определенная по показателям цвета [6] и *uvby*-фотометрии [7], используя калибровки [8]. $T_{эф}$ (secondary) = 4350 K – из статьи [9]. Микротурбулентная скорость для главного компонента 2.7 км/с определена по линиям ионизованного железа. Отношение потоков на длине волны 5500 Å принималась равным $F_A/F_B = 23$.

Синтетический спектр компонентов и составной спектр системы рассчитывался с помощью программ SYNTHE (Kurucz) и URAN (Yushchenko) по методике, описанной в статье [10].

Результаты:

– В спектре главного компонента определено содержание 21 элемента, все элементы показывают солнечное содержание (рис. 3). Точность определения содержания железа по 31 линии составляет 0.08 dex.
– По 19 линиям вторичного компонента сделана попытка определить его химсостав. Содержание элементов не противоречит солнечному.
– Сильные линии легких элементов главного компонента показывают значительные избытки содержания (табл. 2), превышающие влияние неЛТР-эффектов для звезд главной последовательности.
– Не обнаружено изменения эквивалентных ширин линий с фазой (на фазе 0.3 и 0.82). Водородные линии хорошо описываются ЛТР-моделями и не показывают эмиссии.

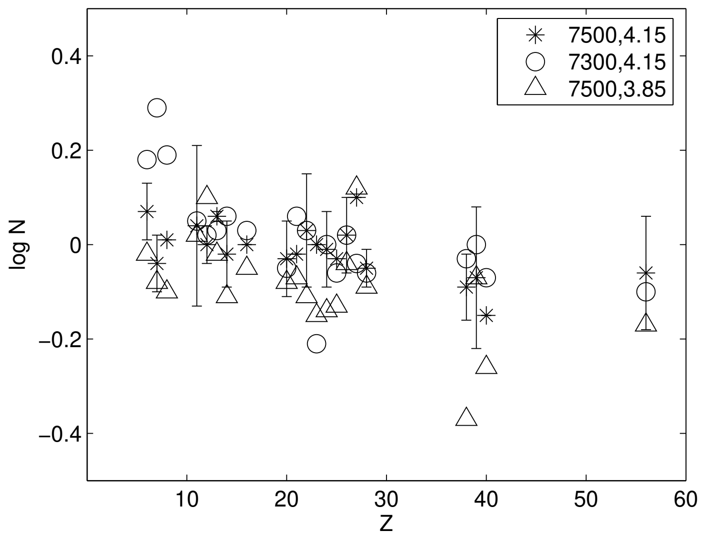

Рис. 3. Содержание химических элементов у главного компонента системы R CMa

Таблица 2. Сильные линии легких элементов в спектрах R CMa

Line	λ Å	EW_{obs} m Å	R_{obs}	$\Delta \lg N$	$\lg N$
N I	7442.298	91	0.971	0.64	8.56
O I	7771.944				
O I	7774.166	677	0.865	1.2	9.8
O I	7775.388				
Mg I	3986.753	201	0.852	0.48	8.06
Mg I	4057.505	342	0.802	0.65	8.23
Mg I	4167.271	247	0.842	0.64	8.22
Mg II	4481.136			0.55	8.13
Mg II	4481.311	678	0.716	0.48	8.06

TX UMa

Система TX UMa ($P = 3.06^d$, B8 V+G0 III IV) также хорошо исследована, однако имеет большую неопределенность в определении скорости вращения главного компонента от 40 до 130 км/с (табл. 3).

В 2008 г. для этой системы получено три спектра на фазах 0.10, 0.11, 0.13 на телескопе 1.8-м обсерватории Бохунсан (Южная Корея) с разрешением $R = 45\,000$ и S/N = 75 на длине волны 5500 Å (весь диапазон 3600–10500 Å).

По всем линиям в спектрах были построены LSD-профили (рис. 4), по которым получено точное значение скорости вращения главного компонента и оценена скорость вращения вторичного (табл. 3). Качество LSD-профиля из-за малого количества линий в спектре этой звезды невысокое. Скорость вращения для главного компонента, определенная отдельно по линии Mg II 4481 Å, оказалась равной 83 км/с, что свидетельствует об усилении линий легких элементов так же, как и в случае R CMa. Скорость вращения главного компонента в 1.5 раза больше синхронной, а у вторичного – равна синхронной (радиусы компонентов взяты из работы [12]).

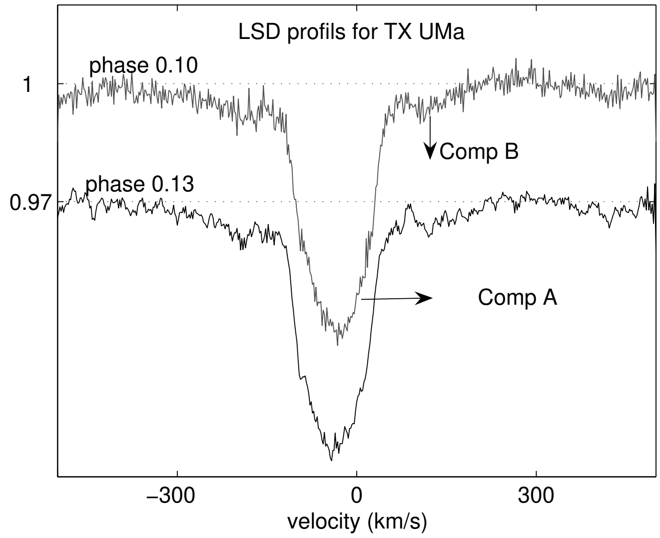

Рис. 4. LSD-профили для TX UMa

Таблица 3. Скорости вращения компонентов системы TX UMa

Дата	v_{rotA} / v_{rotB}	Спектральные линии	Ссылки
1970	64±3	Mg II 4481, He I 4471	[16]
1969–1970	130	линия H_α	[17]
1969–1973	71±1.5	луч. скор.	[18]
1975	123±4	Na I D	[19]
1981	64	C II 1324, 1335	[15]
1983	40/60	Mg II 4481	[20]
2008	69±3/73	LSD все линии	эта работа
2008	83	Mg II 4481	эта работа

ХИМСОСТАВ ГЛАВНОГО КОМПОНЕНТА СИСТЕМЫ TX UMa

По показателям цвета B–V и U–B, взятым из работы [13] для обоих компонентов, а также теоретическим показателям цвета, полученным по моделям Куруча [14], мы получили оценки температур $T_{эфA} = 13\,000 \pm 300$ K ($\lg g = 4.0$, $E(B{-}V) = 0.04$) и $T_{эфB} = 6250 \pm 250$ K ($\lg g = 3.5$, $E(B{-}V) = 0.04$). Эти значения очень близки к температуре для главного компонента, полученной по распределению энергии в ультрафиолетовом спектре [15] $T_{эфA} = 12\,900 \pm 300$ K. Ускорения силы тяжести для компонентов $\lg g_A = 4.2$ и $\lg g_B = 3.3$ получены на основании известных масс и радиусов компонентов [12]. Микротурбулентная скорость для главного компонента, равная 2.3 км/с, получена по линиям ионизованного железа. Отношение потоков компонентов принималось равным $F_A/F_B = 13$.

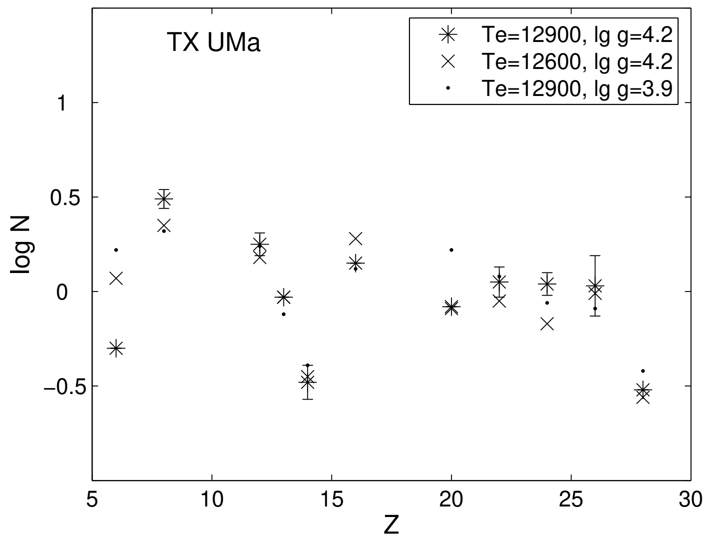

Рис. 5. Содержание химических элементов у главного компонента системы TX UMa

Синтетический спектр компонентов и составной спектр системы рассчитывался с помощью программы SYNTHE (Kurucz) и URAN (Yushchenko) по методике, описанной в работе [10].

Результаты:

- Определено содержание 12 химических элементов, линии C (2 линии), Si (9) и Ni (1) показывают заметный дефицит, триплет кислорода O I 7774 Å показывает заметный избыток, остальные – солнечное. Рис. 5 показывает логарифм отклонения содержания элемента от солнечного в зависимости от атомного номера. Точность определения содержания железа по 37 линиям Fe II составляет 0.16 dex.
- В линии H_α присутствует слабая эмиссия, свидетельствующая о наличии газовой оболочки в системе.

ВЫВОДЫ

1. Солнечный химсостав атмосферы главного компонента, а косвенно и вторичного, свидетельствует о том, что обмен в системе R CMa начался на стадии горения водорода в ядре более массивного компонента (случай A) или в конце этой стадии (случай AB). Возраст системы как члена старого населения диска оценивается (2–6)$\cdot 10^9$ лет [9].
2. Сильные линии легких элементов в спектре главного компонента R CMa показывают значительные избытки содержания этих элементов, превышающие поправки за неЛТР-эффекты для звезд главной последовательности [22]. Это сказывалось на точности определения скорости вращения, увеличивая ее почти на 30% [19], и приводило к ложной асинхронности.
3. У системы R CMa не наблюдается никаких признаков обмена веществом, что может свидетельствовать о непостоянстве процессов обмена веществом на полуразделенной фазе эволюции двойной системы.
4. Впервые определен химсостав атмосферы главного компонента системы TX UMa: дефицит C и избыток O говорят об обогащении атмосферы продуктами CNO цикла, подтверждая типичный для алголей эволюционный случай B. Дефицит Si не является редкостью для звезд данного спектрального класса [21].
5. Определенная по LSD-профилю скорость вращения главного компонента системы TX UMa оказалась асинхронной, что скорее всего связано с обменом веществом в системе и раскручиванием атмосферы в результате передачи углового момента из потока. Скорость вращения, определенная по линии Mg II 4481 Å оказалась на 20% больше, что говорит об усилении линий легких элементов так же, как и в системе R CMa.

[1] *Tomkin J.* Secondaries of eclipsing binaries. VI. R Canis Majoris // Astrophys. J. – 1985. – **297**, N 2. – P. 250–258.

[2] *Eggleton P. P., Kiseleva-Eggleton L.* The Evolution of Cool Algols // Astrophys. J. – 2002. – **575**, N 3. – P. 461–483.

[3] *Tomkin J., Lambert D. L.* The chemical composition of algol system. IV. The primary of R CMa // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1989. – **241**, N 4. – P. 777–785.

[4] *Reiners A., Royer F.* Altair's inclination from line profile analysis // Astron. and Astrophys. – 2004. – **428**, N 1. – P. 199–207.

[5] *Glazunova L. V., Yushchenko A. V., Tsymbal V. V., et al.* Rotational Velocities of the Components of 23 Binaries // Astron. J. – 2008. – **136**, N 11. – P. 1736–1745.

[6] *Sarma M. B. K., Vivakananda P. R., Abhyankar K. D.* R Canis Majoris—Revisited // Astrophys. J. – 1996. – **458**, N 2. – P. 371–385.

[7] *Hauck B., Mermilliod M.* $uvby\beta$ photoelectric photometric catalogue // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. – 1998. – **129**, N 4. – P. 431–445.

[8] *Clem J. L., Vandenberg D. A., Grundahl F., Bell R. A.* Empirically Constrained Color-Temperature Relations. II. *uvby* // Astron. J. – 2004. – **127**, N 9. – P. 1227–1236.

[9] *Varricatt W. P., Ashok N. M.* Near-Infrared Photometric Studies of R Canis Majoris // Astron. and Astrophys. – 1999. – **117**, N 1. – P. 298–307.

[10] *Yushchenko A.V., Gopka V.F., Khokhlova V.L., et al.* HD 153720 – a SB2 system with twin metallic-line components // Astron. and Astrophys. –2004. – **425**, N 1. – P. 171–193.

[11] *Cordier D., Pietrinferni A., Cassisi S., Salaris M.* A Large Stellar Evolution Database for Population Synthesis Studies. III. Inclusion of the Full Asymptotic Giant Branch Phase and Web Tools for Stellar Population Analyses // Astron. J. – 2007. – **133**, N 3. – P. 468–485.

[12] *Maxted P. F. L., Hill G., Hilditch R. W.* Studies of early-type variable stars. XIII. Spectroscopic orbit and Absolute parameters of TX Ursae Majoris // Astron. and Astrophys. –1995. – **301**, N 1. – P. 135–140.

[13] *Koch R. H.* Departures from the Russell Model in TX Ursae Majoris // Astron. J. – 1961. – **66**, N 5. – P. 230–242.

[14] *Kurucz R. L.* An Atomic and Molecular Data Bank for Stellar Spectroscopy // ASP Conf. Ser. – 1995. – **81**. – P. 583–588.

[15] *Cugier H.* Carbon abundance in the primaries of six Algol-type systems // Astron. and Astrophys. –1989. – **210**, N 1. – P. 168–178.

[16] *Olson E. C.* A search for rotational velocity changes among eclipsing binary stars // Publs Astron. Soc. Pacif. – 1984. – **96**, N 2. – P. 376–381.

[17] *Grygar J., Hric L., Komzic R., Sima Z.* Direct determination of the secondary spectrum of the interacting eclipsing binary TX UMa // Astrophys. J. Supl. Ser. – 1991. – **185**, N 2. – P. 189–193.

[18] *Komzic R., Chochol D., Grygar J.* Asynchronous rotation of the mass gaining component in the Algol-type binary TX UMa // Contrib. Astron. Obs. Skalnate Pleso. – 2008. – **38**, N 2. – P. 538–544.

[19] *Mallama A. D.* Rotational velocities for semi-detached Algol-type binaries // Acta Astronomica. – 1986. – **63**, N 1. – P. 31–40.

[20] *Каретников В. Г., Ковтюх В. В.* Спектральные исследования звезды TX Ursae Majoris // Астрон. журн. – 1978. – **28**, № 11. – P. 1144–1156.

[21] *Hempel M., Holweger H.* Abundance analysis of late B stars. Evidence for diffusion and against weak stellar winds // Astron. and Astrophys. –2003. – **408**, N 10. – P. 1065–1076.

[22] *Shimanskaya N. N., Mashonkina L. I., Sakhibullin N. A.* Non-LTE Effects in Mg I Lines for Various Types of Stars // Astron. Rep. – 2000. – **44**, N 8. – P. 530–547.