

# СПЕКТРАЛЬНЫЕ И СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ КРАТНОЙ СИСТЕМЫ ADS 11061

М. Аль-Вардат<sup>1</sup>, Ю. Ю. Балегга<sup>1</sup>, В. В. Леушин<sup>1</sup>, Ф. А. Мусаев<sup>1,2</sup>

© 2003

<sup>1</sup> *Специальная астрофизическая обсерватория РАН  
пос. Нижний Архыз, Зеленчукский район, 369167 Карачаево-Черкесская Республика, Россия  
e-mail: balega@sao.ru, leushin@sci.lebedev.ru*

<sup>2</sup> *Международный центр астрономических и медико-экологических исследований*

---

Приведены некоторые результаты спекл-интерферометрических и спектроскопических наблюдений иерархической системы ADS 11061, включающей двойную 41 Dra с очень большим эксцентриситетом ( $e = 0.9755$ ). Наблюдения проводились с 1993 г. и в период прохождения периастра в июне 2001 г. Материал наблюдений с высоким разрешением был получен на 6-м телескопе БТА САО, 1-м телескопе САО и 2-м телескопе обсерватории Терскол.

SPECTROSCOPIC AND SPECKLE-INTERFEROMETRIC OBSERVATIONS OF THE MULTIPLE SYSTEM ADS 11061, by Al-Wardat M., Balega Yu. Yu., Leushin V. V., Musaev F. A. – Binary star 41 Dra is a member of the hierarchical quadruple system ADS 11061 which includes 41 Dra with a very big eccentricity ( $e = 0.9755$ ). Since 1993 we have performed speckle interferometric observations of the system using the 6-m BTA telescope. In addition, high-resolution spectroscopy of the system was made with the echelle spectrographs of the SAO 1-m telescope and the Terskol 2-m telescope. The observations covered the periastron passage in June 2001.

---

Проблема влияния на эволюцию динамического взаимодействия компонентов двойной системы в период до заполнения одним из компонентов полости Роша изучена мало. Причиной этого является сравнительная малость эффектов этого взаимодействия в системах. Циркуляризация орбит, синхронизация и рассинхронизация вращения, сохранение и потеря моментов вращения определяются как фундаментальными параметрами компонентов и характеристиками орбит, так и структурой самих компонентов. Непосредственное заключение о структурах звезд, распределении масс по радиусу, дифференциальном вращении можно сделать на основе детального анализа эволюционных изменений орбит компонентов. Кажется вероятным, что изучение двойных звезд с большими эксцентриситетами орбит, в которых динамическое взаимодействие может изменяться в зависимости от положений компонентов на орбите могут дать практическую информацию о природе эволюционных процессов, обусловленных кратностью звезды.

Среди кратных систем с большими значениями эксцентриситета 41 Dra (= HR 6810 = HD 166866 = ADS 11061 A) является выдающимся представителем таких звезд. 41 Dra входит в визуально-двойную ADS 11061, которая является иерархической четверной системой из компонентов A (41 Dra) и B (40 Dra), разделенных  $19''$ . Компоненты A и B являются спектрально-двойной с двумя системами линий и периодами 1247.2 и 10.5 сут [4]. Короткопериодическая двойная Bab (40 Dra) слишком тесна для разделения с 6-м апертурой, тогда как более яркая пара Aab (41 Dra) является хорошим объектом для спекл-измерений.

41 Dra разрешается спекл-интерферометрически, это позволяет существенно уточнить параметры орбит и компонентов системы. Период орбитального движения спектрально- и спекл-интерферометрической двойной 41 Dra равен 3.4147 г., ближайшее прохождение периастра наблюдается в 2001 г.

Первые наблюдения на БТА двойной 41 Dra состоялись в мае 1993 г. Полгода спустя новые измерения подтвердили двойственность изображения звезды и показали, что угловое расстояние между компонентами сокращается. В 1994 г. наблюдения были продолжены со спекл-камерой Боннского Института радиоастрономии [5] в красном 656/30 нм фильтре. В 1996 г. спекл-изображения 41 Dra были получены в K-полосе (фильтр 2191/411 нм) с помощью 256<sup>2</sup>-элементной камеры NICMOS-3. Разница величин на  $\lambda = 650$  нм, оцененная по восстановленному изображе-

нию, равна  $0.38 \pm 0.05^m$ . В инфракрасной области (фильтр 2129/411 нм) разность блеска  $0.47 \pm 0.10^m$ . По значениям элементов  $P$ ,  $T$ ,  $e$  из опубликованной спектральной орбиты [4] и нашим спекл-измерениям следовало, что в июне 2001 г. компоненты системы будут проходить периастр.

Для того чтобы оценить эффекты сближения компонентов, в САО РАН были проведены комплексные наблюдения 41 Dra до и после прохождения периастра. На основе спектральных и спекл-интерферометрических наблюдений в ноябре–декабре 2000 г. и январе–июне 2001 г. были уточнены параметры орбиты системы:

Элементы орбиты 41 Dra:

$$\begin{aligned}
 P &= 3.412539 \pm 0.00556 \text{ г.}, \\
 T &= 1994.595661 \pm 0.000061 \text{ г.}, \\
 e &= 0.975517 \pm 0.000308, \\
 a &= 0.0656 \pm 0.0044, \\
 \Omega &= 5.02 \pm 4.30^\circ, \\
 \omega &= 128.2646 \pm 0.497^\circ, \\
 i &= 46.5 \pm 4.09^\circ, \\
 K_1 &= 44.854192 \pm 0.357 \text{ км/с}, \\
 K_2 &= 47.527499 \pm 0.445 \text{ км/с}, \\
 V_0 &= 6.155086 \pm 0.124 \text{ км/с}.
 \end{aligned}$$

Ниже приведены эфемериды вблизи периастра:

Дата	Время	$V_{ra}$ , км/с	$V_{rb}$ , км/с	$\theta$	$\rho$	Дата	Время	$V_{ra}$ , км/с	$V_{rb}$ , км/с	$\theta$	$\rho$
26.05.2001	2001.400	20.7	-9.4	348.1°	0.020''	14.06.2001	2001.450	9.1	2.9	44.9°	0.002''
31.05.2001	2001.413	21.7	-10.4	351.0	0.017	14.06.2001	2001.452	-21.0	34.8	95.0	0.001
31.05.2001	2001.414	21.7	-10.5	351.3	0.016	15.06.2001	2001.453	-47.3	62.6	138.6	0.001
03.06.2001	2001.420	22.3	-11.1	353.1	0.015	15.06.2001	2001.454	-63.9	80.1	171.5	0.002
04.06.2001	2001.423	22.6	-11.4	354.3	0.014	16.06.2001	2001.456	-61.2	77.3	205.7	0.003
04.06.2001	2001.424	22.7	-11.5	354.7	0.013	17.06.2001	2001.459	-48.0	63.3	230.2	0.004
05.06.2001	2001.427	23.0	-11.8	356.0	0.012	18.06.2001	2001.462	-39.7	54.6	243.8	0.005
06.06.2001	2001.430	23.3	-12.1	357.6	0.011	19.06.2001	2001.465	-34.4	48.9	252.6	0.006
07.06.2001	2001.433	23.6	-12.4	359.5	0.010	21.06.2001	2001.469	-29.5	43.8	260.7	0.007
08.06.2001	2001.436	23.8	-12.7	1.9	0.009	23.06.2001	2001.475	-24.8	38.7	268.7	0.008
09.06.2001	2001.438	23.9	-12.8	3.8	0.008	23.06.2001	2001.476	-24.2	38.1	269.7	0.009
10.06.2001	2001.441	23.9	-12.7	7.5	0.007	25.06.2001	2001.480	-22.0	35.8	273.3	0.010
11.06.2001	2001.443	23.5	-12.4	10.9	0.006	26.06.2001	2001.483	-20.7	34.4	275.5	0.010
12.06.2001	2001.445	22.6	-11.5	15.5	0.005	27.06.2001	2001.487	-19.2	32.9	278.1	0.011
13.06.2001	2001.447	20.5	-9.2	22.3	0.004	28.06.2001	2001.490	-18.3	31.9	279.7	0.012
13.06.2001	2001.449	15.0	-3.4	34.3	0.003						

Соответствующий эллипс относительного движения и спекл-измерения показаны на рис. 1.

Изменение угла наклона орбиты от  $50^\circ$  до  $41.03^\circ$  с известным значением  $(M_{Aa} + M_{Ab}) \sin^3 i = 1.100M_\odot$  и  $K_{Ab}/K_{Aa} = 1.06$ , приводит к существенному изменению масс  $Aa$  и  $Ab$  компонентов. Ранее нами [1] было найдено:  $M_{Aa} = 1.26 \pm 0.20M_\odot$ ,  $M_{Ab} = 1.18 \pm 0.20M_\odot$ . С учетом дополнительных наблюдений получается:  $M_{Aa} = 1.48 \pm 0.80M_\odot$ ,  $M_{Ab} = 1.40 \pm 0.80M_\odot$ . Расхождения связаны с довольно большой ( $\pm 4.09^\circ$ ) ошибкой угла наклона орбиты.

Пара 41 Dra представляет собой важный случай относительно короткопериодической двойной с двумя системами линий и эксцентриситетом, близким к единице, являющейся одновременно членом квадрупольной системы.

При прохождении периастра орбиты компоненты 41 Dra разделены всего на  $0.001\text{--}0.002''$ , или  $5\text{--}10$  радиусов звезд. Кратковременное приливное трение вблизи периастра может быть причиной эволюции эксцентриситета орбиты, ее периода и размера полуоси. Поэтому квадрупольная система ADS 11061 AB в целом является критическим тест-объектом для проверки теорий образования и эволюции кратных звезд.

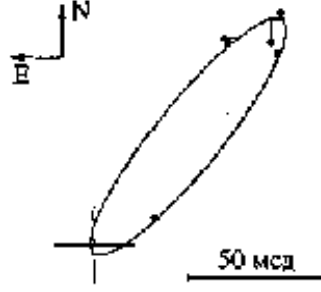


Рис. 1. Относительная интерферометрическая орбита 41 Dra = ADS 11061 Aab. Спекл-измерения (точки) соединены короткими отрезками со своими расчетными положениями на орбите

Спекл-интерферометрические, спектральные и астрометрические наблюдения позволяют уверенно определить расстояние до 41 Dra, которое равно  $43.5 \pm 5.6$  пк [6], что дает для светимостей компонентов  $L_a = (5.60 \pm 2.10)L_\odot$  и  $L_b = (3.94 \pm 2.10)L_\odot$ . Величина светимости и эффективной температуры, которая в первом приближении может считаться одинаковой для обеих компонентов и равной  $T_{eff} = 6500$  К, позволяет оценить величины радиусов компонентов:  $R_{Aa} = 1.9R_\odot$  и  $R_{Ab} = 1.6R_\odot$ . Используя значения масс компонентов и величины радиусов, получаем значения величин ускорений силы тяжести на поверхности звезд:  $\lg g_{Aa} = 3.48$ ,  $\lg g_{Ab} = 4.11$ , которые совместно с эффективными температурами позволяют построить модели атмосфер компонентов. Модели атмосфер компонентов 41 Dra рассчитывались интерполяцией по  $T_{eff}$  и  $\lg g$  из сетки бланкетированных моделей Куруца [7] для солнечного химического состава. Затем по программе Sam1 для каждого из компонентов рассчитывалось распределение энергии в непрерывном спектре  $H_\lambda^a$  и  $H_\lambda^b$ . Теоретические распределения сравнивались с наблюдаемым распределением на границе земной атмосферы. Поток энергии от 41 Dra создается суммарным блеском компонентов Aa и Ab, находящихся на расстоянии  $d$  от Земли. Следовательно, можно записать

$$E_\lambda = (R_{Aa}/d)^2 (H_\lambda^a + H_\lambda^b \cdot (R_{Ab}/R_{Aa})^2),$$

где  $H_\lambda^a$  и  $H_\lambda^b$  – величины потоков с единицы поверхности соответствующих компонентов.

Сопоставление наблюдаемого излучения ( $E_\lambda$  в  $\text{мВт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{см}^{-1}$  из каталога III/202 Страсбургского центра астрономических данных) с рассчитанным для компонентов с  $T_{eff}^a = 6575$  К,  $T_{eff}^b = 6600$  К,  $\lg g_{Aa} = 4.08$ ,  $\lg g_{Ab} = 4.26$ ,  $R_{Aa} = 1.82R_\odot$  и  $R_{Ab} = 1.46R_\odot$  и  $d = 43.5$  пк показывает удовлетворительное совпадение. В то же время более пологий, по сравнению с теоретическим, наклон наблюдаемого пашеновского и бальмеровского континуумов требует меньших температур компонентов. Однако величина бальмеровского скачка в наблюдаемом распределении характерна для температур, больших 6500 К.

Одновременно мы должны учесть то обстоятельство, что система 41 Dra может обладать рядом особенностей, связанных с пекулярно вытянутой орбитой. Возможно, что в системе имеется межзвездное вещество, которое может перерабатывать коротковолновое излучение в длинноволновое и приводить к изменению наклонов бальмеровского и пашеновского континуумов. В противоречии с требованием низкой температуры выступает и величина бальмеровского скачка на наблюдаемом спектре: по скачку температура должна быть больше 6500 К. Возможно, что величина бальмеровского скачка связана с резким возрастанием поглощения межзвездного вещества в системе для излучения с  $\lambda < 364.7$  нм.

Для анализа параметров атмосферы компонентов 41 Dra использовались также линии  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  и  $H_\delta$ . Сложность анализа линейчатого спектра системы связана с тем, что компоненты 41 Dra имеют почти одинаковые параметры. Поэтому даже в первом приближении нельзя пренебречь вкладом одного из компонентов в суммарный спектр. Орбитальное движение приводит к тому, что в разные моменты времени сдвиги складывающихся спектров различны, что необходимо учитывать при анализе. Здесь изучены водородные линии по спектрам, полученным в январе–декабре 2000 г., когда разность лучевых скоростей компонентов составляла 8–10 км/с, и в январе–феврале 2001 г., когда эта разность приблизилась к 18 км/с. Ниже приведены средние величины эквивалентных ширин водородных линий в спектре 41 Dra и теоретические значения эквивалентных

ширин ( $W_\lambda$ , пм), рассчитанные для модели с компонентами  $Aa - T_{eff}^a = 6575$  К,  $\lg g_{Aa} = 4.08$  и  $Ab - T_{eff}^b = 6600$  К,  $\lg g_{Ab} = 4.26$ :

	$W_\lambda$ , пм			
	$H_\alpha$	$H_\beta$	$H_\gamma$	$H_\delta$
41 Dra	505.0	510.0	501.0	510.0
Модель	484.0	513.5	521.0	542.5

Сравнение наблюдаемых эквивалентных ширин и контуров водородных линий с теоретическими расчетами показывает, что параметры компонентов системы близки к выбранным по распределению энергии в спектре. Однако полностью согласовать наблюдательные данные по водородным линиям с теоретическими не удается. Возможно, наблюдаемые величины эквивалентных ширин линий искажены ошибками проведения непрерывного спектра, положение которого на малых промежутках эшелельных спектров определяется с точностью 0.01–0.02, что при наличии протяженных крыльев водородных линий (до 5 нм) может дать ошибку  $\pm 0.1$  нм. Теоретические контуры достаточно уверенно представляют наблюдаемые во всей области контура линии, за исключением центров линий ( $\pm 0.01$  нм), что может быть связано с недостаточным учетом поглощения в самых верхних слоях атмосферы. Возможно, что расхождения будут сняты добавлением в систему поглощающей и переизлучающей материи. Не решен вопрос и об изменениях в системе, связанных с движением по орбите 41 Dra. Косвенным подтверждением этого может служить указание [6] об изменении разности блеска между компонентами системы от 0.2 до  $0.3^m$  в  $\lambda = 605$  нм.

Менее массивный компонент системы ( $M_b = 1.40M_\odot$ ) находится на линии нулевого возраста, следовательно, система прошла стадию гравитационного сжатия, и более массивный компонент ( $M_a = 1.48M_\odot$ ) достаточно далеко продвинулся в стадии сжигания водорода в ядре. Время эволюции этого компонента от линии нулевого возраста до теперешнего положения составляет  $(4.0 - 4.2) \cdot 10^9$  лет, то есть до полного выгорания водорода в центре компонента  $Aa$  осталось около миллиарда лет.

Если все компоненты системы и сама система имеют общие происхождения и образовались в один момент времени, то время жизни и второго компонента  $Ab$  должно быть близко к  $4 \cdot 10^9$  лет. Однако положение компонента  $Ab$  на ZAMS свидетельствует о том, что возраст этого компонента должен быть существенно меньше (не более 1 миллиарда лет).

Отсюда следует вывод о том, что система должна была образоваться сравнительно недавно из компонентов, один из которых имеет достаточно большой возраст. Очень большой эксцентриситет системы подтверждает вывод о том, что сама система сравнительно молода по сравнению с возрастом компонента  $Aa$ , поскольку циркуляризация орбит тесных систем, к которым можно отнести и систему 41 Dra, требует существенно меньшего времени, чем наблюдаемое эволюционное время компонента  $Aa$ .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 00-02-16213-а и № 01-02-16563-а).

- [1] *Балега И. И., Балега Ю. Ю., Фальке Г. и др.* // Письма в Астрон. журн.—1997.—**23**.—С. 199.
- [2] *Копылов И. М.* // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1958.—**20**.—С. 148.
- [3] *Копылов И. М.* // Астрон. журн.—1985.—**62**.—С. 1132.
- [4] *Токовинин А. А.* // Письма в Астрон. журн.—1995.—**21**.—С. 286.
- [5] *Baier G., Weigelt G.* // Astron. and Astrophys.—1983.—**121**.—P. 137.
- [6] *Balega I., Balega Yu., Falcke H., et al.* // Visual Double Stars.—Kluwer Acad. Publ, 1997.—P. 73–78.
- [7] *Kurucz R. L.* Atmospheric models on CD-ROMs.—1994.
- [8] *Turon C., Creze M., Egret D., et al.* The HIPPARCOS Input Catalogue. ESA SP—1136.—1992.—Vol. 4.