

УДК 524.387-33

ПАРАМЕТРЫ ВИЗУАЛЬНОЙ ТЕСНОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ HIP11253 (HD14874)

© 2009 М. А. Аль-Вардат^{1*}, Х. Видян^{1,2**}

¹*Department of Physics, Al-Hussein Bin Talal University, P.O.Box 20, 71111, Ma'an, Jordan.*

²*Department of Applied Physics, Tañila Technical University, Tañila, Jordan*

Поступила в редакцию 26 мая 2009 г.; принята в печать 15 июня 2009 г.

Оценены физические и геометрические параметры компонентов двойной системы Hip11253 (HD14874). Мы использовали метод, описанный в предыдущих работах, который заключается в достижении наилучшего совпадения наблюдаемого спектрального распределения энергии с вычисленным; последний строился моделированием атмосфер. Полученные параметры компонентов системы: $T_{eff}^a = 6030 \pm 100$ К, $T_{eff}^b = 4470 \pm 130$ К, $\log g_a = 4.27 \pm 0.13$, $\log g_b = 4.04 \pm 0.13$, $R_a = 1.22 \pm 0.09 R_\odot$, $R_b = 1.32 \pm 0.20 R_\odot$ спектральный класс первого компонента G0, второго — K4.5. Звёздные величины обоих компонентов были вычислены в фотометрических системах Джонсона–Казинса, Стрёмгрена и Тихо. В заключение обсуждается формирование и эволюция системы.

Ключевые слова: *звезды — свойства, классификация*

1. ВВЕДЕНИЕ

Как продолжение нашей предыдущей работы по определению физических и геометрических параметров визуальных тесных двойных систем [1, 2] (обозначенных далее как статьи I и II) мы изучаем в этой работе новую двойную систему Hip11253 (HD14874). Система является хорошим примером тесных двойных систем, которые были изучены методом спекл-интерферометрии. Как мы отмечали в статьях I и II, современная техника наблюдений, спекл-интерферометрия и адаптивная оптика недостаточны для определения физических параметров индивидуальных компонент тесных двойных систем. Мы преодолели эту трудность, комбинируя спекл-интерферометрию и моделирование атмосфер, что дало возможность аккуратно определять эффективные температуры, радиусы, спектральные типы и классы светимости компонент визуальных тесных двойных систем.

Визуальная тесная двойная система Hip11253 удовлетворяет требованиям комплексного метода (статья II): для неё имелись прецизионные измерения разницы величин компонент, наблюдаемое спектральное распределение энергии (SED), покрывающее оптический диапазон, и фотометрически измеренная величина. Впервые она была разрешена как двойная в 1991 г. со

спутника Hipparcos [3] (см. также 4-й каталог интерферометрических измерений двойных звезд, <http://ad.unso.navy.mil/wds/int4.html>).

Система представляет собой хороший экземпляр для изучения формирования и эволюции двойных звёзд.

Таблица 1 содержит основные характеристики системы из SIMBAD и других баз данных, Табл. 2 содержит данные из каталогов Hipparcos и Tycho [3].

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕР

2.1. Источник наблюдаемого SED

SED системы взят из работы [5] и приведён на Рис. 1. В спектре можно видеть сильные линии и депрессии, особенно в красной части (около $\lambda 6867\text{Å}$, $\lambda 7200\text{Å}$ и $\lambda 7605\text{Å}$). Это теллурические полосы и линии H₂O и O₂. Синтетические звёздные величины в системах Джонсона, Стрёмгрена и Тихо и показатели цвета, вычисленные по наблюдаемому SED, приведены в Табл. 3.

2.2. Входные параметры для моделирования атмосфер

Следуя процедуре, описанной в статьях I и II, были вычислены начальные индивидуальные

*E-mail: mwardat@ahu.edu.jo

**E-mail: widyan@ahu.edu.jo

Таблица 1. Основные характеристики системы

Параметры	Hip11253	Источник
α_{2000}	02 ^h 24 ^m 51 ^s .1499	SIMBAD
δ_{2000}	+30°38'48".277	—
Тус	2323–227–1	—
HD	14874	—
Спектр. класс	G0V	—
E(B–V)	0 ^m 908 ± 0.0047	NASA/IPAC
A_v	0 ^m 283	—
[Fe/H]	–0.09	[4]
V_J	8 ^m 171	—
M_v	4 ^m 31	—
D (пк)	59	—
$\log T_{\text{eff}}$	3.756	—
Возраст (млрд. лет)	10	—

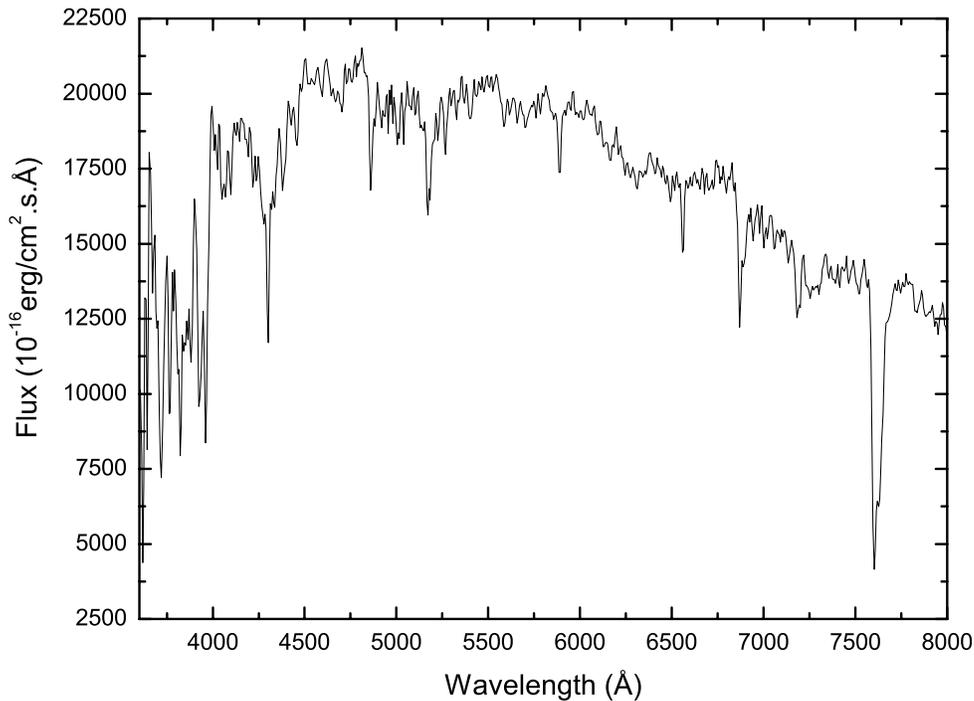


Рис. 1. Спектральное распределение энергии системы Hip11253 [5].

параметры компонент системы. При этом использовались величины: $m_v = 8.21$ из Табл. 3 и $\Delta m = 2.68 \pm 0.05$ по самым последним результатам спекл-интерферометрии (Табл. 4) с наи-

меньшей ошибкой измерений Δm при использовании фильтра 545нм/30 (наиболее близкому к джонсоновскому фильтру V), параллакс системы ($\pi = 0.01688''$, $d = 59.24$ пк) взят из катало-

Таблица 2. Данные из каталога Hipparcos и Tycho [3]

Параметры	Hip11253 HD14874
B_T	$8^m 964 \pm 0.012$
V_T	$8^m 231 \pm 0.01$
$(B - V)_J$ (Tycho)	$0^m 665 \pm 0.015$
$\pi_{Hip} (\times 10^{-3} \text{''})$	16.88 ± 1.40
$\pi_{Tycho} (\times 10^{-3} \text{''})$	27.4 ± 7.9

Таблица 3. Звёздные величины и показатели цвета Hip11253 в системах Джонсона и Стрёмгрена

Фильтр	Hip11253	Ссылка
B_J	$8^m 88 \pm 0.06$	[5]
R_J	$7^m 80 \pm 0.07$	[5]
V_J	$8^m 21 \pm 0.06$	[6]
$(B - V)_J$	$0^m 67 \pm 0.08$	[6]
v	$9^m 23 \pm 0.06$	[6]
b	$8^m 65 \pm 0.06$	[6]
y	$8^m 16 \pm 0.06$	[6]
$v - b$	$0^m 58 \pm 0.08$	[6]
$b - y$	$0^m 51 \pm 0.08$	[6]

га Hipparcos [3], болометрическая поправка из справочника Ленга [7]. Были вычислены входные параметры индивидуальных компонент:

$$m_{va} = 8^m 29, m_{vb} = 10^m 97, \quad (1)$$

$$M_{bol} = 4^m 25, M_{bol} = 6^m 56, \quad (2)$$

$$L_a = 1.59 \pm 0.20 L_\odot, L_b = 0.19 \pm 0.03 L_\odot, \quad (3)$$

$$T_{eff}^a = 6000 \text{ K}, T_{eff}^b = 4530 \text{ K}, \quad (4)$$

$$M_a = 1.05 M_\odot, M_b = 0.70 M_\odot, \quad (5)$$

$$R_a = 1.17 R_\odot, R_b = 0.71 R_\odot, \quad (6)$$

$$\log g_a = 4.32, \log g_b = 4.57. \quad (7)$$

2.3. Синтетические спектры

Вычисленные входные параметры позволили нам построить набор моделей атмосфер для каждого компонента, используя сетку бланкетированных моделей (ATLAS9) Куруца [12]. Мы использовали

Таблица 4. Наблюдаемые разности звёздных величин компонент системы в разных фильтрах

Δm	Фильтр ($\lambda/\Delta\lambda$)	Ссылка
$02^m 79 \pm 0.22$	545/30	[8]
$02^m 57 \pm 0.06$	610/20	[9]
$02^m 48 \pm 0.19$	600/30	[10]
$02^m 54 \pm 0.04$	600/30	[10]
$02^m 68 \pm 0.05$	545/30	[11]

модели с солнечным обилием элементов, по которым было вычислено SED в непрерывном спектре каждого компонента.

Полный поток энергии был образован как сумма светимостей компонент a и b , расположенных на расстоянии d от Земли. Можно записать:

$$F_\lambda \times d^2 = H_\lambda^a \times R_a^2 + H_\lambda^b \times R_b^2, \quad (8)$$

для которого

$$F_\lambda = (R_a^2/d)^2 (H_\lambda^a + H_\lambda^b \times (R_b/R_a)^2), \quad (9)$$

где H_λ^a и H_λ^b — потоки от единичной поверхности соответствующего компонента. F_λ представляет SED всей системы.

Делались многочисленные попытки достичь хорошего согласия между наблюдаемыми и вычисленными потоками, используя итерационный метод различных наборов параметров. Попытки включали изменение параметров, вычисленных в предыдущей итерации, путём перебора величин m_v , Δm и параллакса, взятых из различных источников, но в пределах ошибок измерений. Таким образом были построены сотни моделей и сравнены с наблюдаемым SED.

По критерию наилучшей аппроксимации, который оценивает максимальную величину потока, наклон спектра и профили абсорбционных линий, лучшая аппроксимация (Рис. 2 и 3) была при использовании следующего набора параметров:

$$T_{eff}^a = 6030 \pm 100 \text{ K}, T_{eff}^b = 4470 \pm 130 \text{ K}, \quad (10)$$

$$\log g_a = 4.27 \pm 0.13, \log g_b = 4.04 \pm 0.13, \quad (11)$$

$$R_a = 1.22 \pm 0.09 R_\odot, R_b = 1.32 \pm 0.20 R_\odot, \quad (12)$$

и расстояние $d = 59.24$ пк было принято как величина, соответствующая наименьшей ошибке в каталоге [3]. Это даёт светимости компонент $L_a = 1.76 \pm 0.23 L_\odot$, что лежит в пределах ошибок начальных величин, вычисленных выше, и

$L_b = 0.62 \pm 0.09 L_\odot$, что лежит за пределами ошибок начальных величин, вычисленных выше. Мы обсудим этот вопрос позднее.

Величины, соответствующие лучшей аппроксимации, вполне адекватно представляют параметры компонентов системы. Используя эмпирическое соотношение $Sp-T_{eff}$ из справочника Ленга [7], получаем спектральные классы компонентов системы: G0 для компонента a и K4.5 для b .

Надо отметить, что изменение параметров системы сильно влияет на величину радиусов компонентов, увеличивая их ошибки. Величины радиусов сильно зависят от измерений параллакса, который в некоторых случаях искажён орбитальным движением компонентов таких систем, как отмечали Шатский и Токовинин [13].

3. СИНТЕТИЧЕСКАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Как отмечалось в статье I, синтетическая фотометрия может быть использована для контроля при выборе наилучшего соответствия между вычисленными и наблюдаемыми спектрами. Это делается путём сравнения наблюдаемых звёздных величин всей системы (из разных источников) с полной синтетической величиной. Или можно вычислить (как мы делаем здесь) полную и индивидуальные величины компонентов системы, пользуясь соотношением из работ [14, 15].

$$m_p[F_{\lambda,s}(\lambda)] = -2.5 \log \frac{\int P_p(\lambda) F_{\lambda,s}(\lambda) \lambda d\lambda}{\int P_p(\lambda) F_{\lambda,r}(\lambda) \lambda d\lambda} + ZP_p, \quad (13)$$

где m_p — синтетическая зв. величина в полосе p , $P_p(\lambda)$ — безразмерная функция чувствительности в полосе p , $F_{\lambda,s}(\lambda)$ — синтетическое SED объекта и $F_{\lambda,r}(\lambda)$ — SED звезды сравнения (Вега). Нулевые точки (ZP_p) были заимствованы из работы [15]. В Табл. 5 приведены величины и показатели цвета всей системы и отдельно компонентов в полосах UBV Джонсона-Казинса, $uvby$ Стрёмгrena и BV Тихо.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

Сравнение синтетических величин и цветов (Табл. 5) с наблюдаемыми (Табл. 2 и 3) показывает точное соответствие с величинами и цветами в системе Джонсона и хорошее (в пределах ошибок) в системе Тихо. Это указывает на надёжность оценок параметров компонентов системы, приведённых в Табл. 6.

На Рис. 4 показано положение компонентов на эволюционных треках из работы [16], ошибки включают ошибку определения параллакса.

Таблица 5. Синтетические звёздные величины и цвета системы Hip 11253

Фотометрич. система	Фильтр	Полная зв. величина	Компонент	
			a	b
Джонсон - Казинс	U	9.07 ± 0.03	9.11	12.62
	B	8.89	8.99	11.53
	V	8.21	8.37	10.33
	R	7.81	8.04	9.60
	$U - B$	0.18	0.12	1.09
	$B - V$	0.68	0.61	1.21
	$V - R$	0.40	0.33	0.73
Стрёмгрен	u	10.23	10.27	13.98
	v	9.25	9.32	12.25
	b	8.59	8.72	10.97
	y	8.17	8.35	10.25
	$u - v$	0.99	0.95	1.73
	$v - b$	0.66	0.60	1.28
	$b - y$	0.42	0.37	0.72
Тихо	B_T	9.04	9.13	11.84
	V_T	8.28	8.44	10.48
	$B_T - V_T$	0.75	0.69	1.36

Возраст системы, установленный из эволюционных треков, составляет почти 4 млрд. лет. Эволюционные треки также показывают, что второй (менее массивный) компонент является более проэволюционировавшим, нежели первый, поэтому оценка светимости второго компонента превышает ожидаемую величину для такой звезды. Разницу между радиусом $R_b = 0.71R_\odot$ (6), который был оценён по соотношению R - L - T для звёзд главной последовательности:

$$\log(R/R_\odot) = 0.5 \log(L/L_\odot) - 2 \log(T/T_\odot), \quad (14)$$

и радиусом $R_b = 1.32R_\odot$ (12), который был оценён комплексным методом, также можно объяснить тем, что второй компонент b давно не является звездой главной последовательности. Это заставляет нас принять в качестве процесса формирования двойной системы захват как наиболее вероятный механизм в этом случае (для дальнейшей дискуссии см. [17–19]).

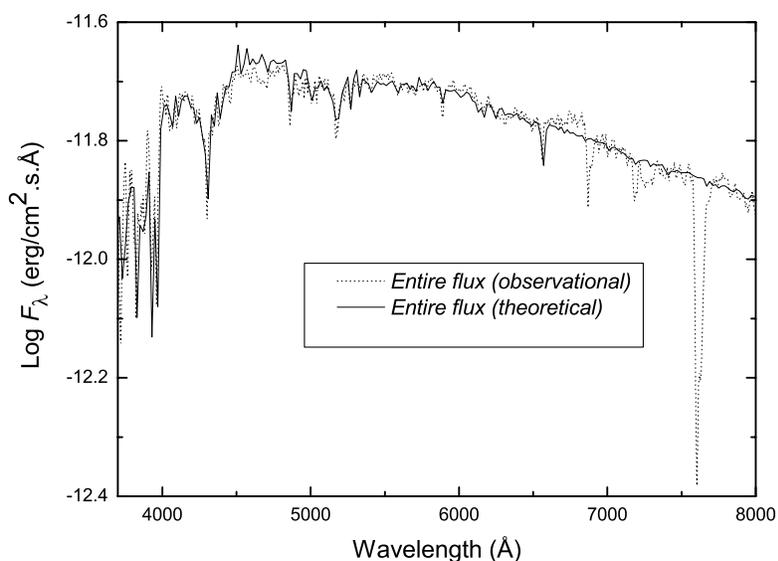


Рис. 2. Лучшее соответствие между наблюдаемым спектральным распределением энергии в непрерывном спектре системы на уровне земной атмосферы (точечная линия) и вычисленным (сплошная линия). Последнее представляет собой полный вычисленный поток от обоих компонентов.

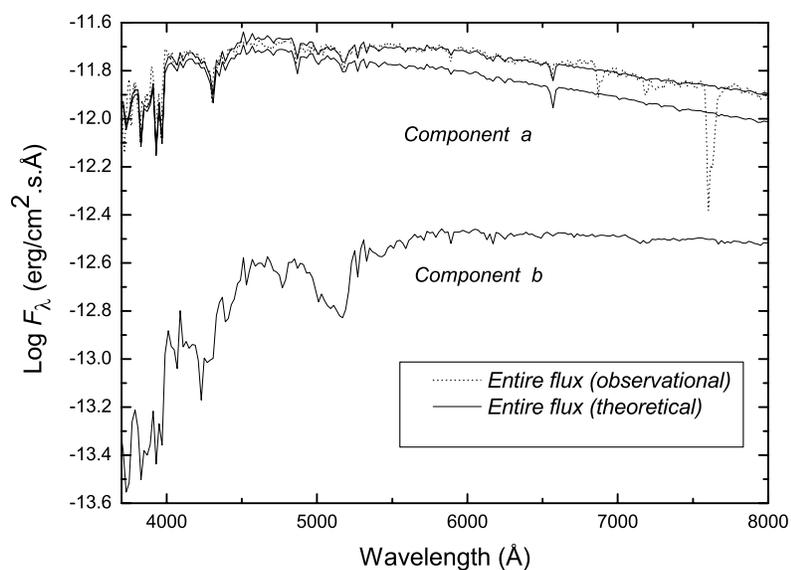


Рис. 3. Точечная линия — наблюдаемое SED в непрерывном спектре системы. Сплошная линия — SED полного вычисленного потока от двух компонентов. При вычислении принималось для первого компонента $T_{eff} = 6030 \pm 100$ K, $\log g = 4.27 \pm 0.13$, $R = 1.22 \pm 0.09 R_{\odot}$, для второго компонента $T_{eff} = 4470 \pm 130$ K, $\log g = 4.04 \pm 0.13$, $R = 1.32 \pm 0.20 R_{\odot}$ и $d = 59.24$ пк.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя комплексный метод изучения визуальных тесных двойных систем, мы проанализировали двойную систему Hip 11253 и можем сделать выводы:

- параметры компонентов системы оценивались по наилучшей аппроксимации наблю-

даемого SED синтетическим. Последний строился моделированием атмосфер для каждого компонента отдельно;

- оценены спектральные типы обоих компонентов: G0 и K4.5;
- вычислены синтетические звёздные величи-

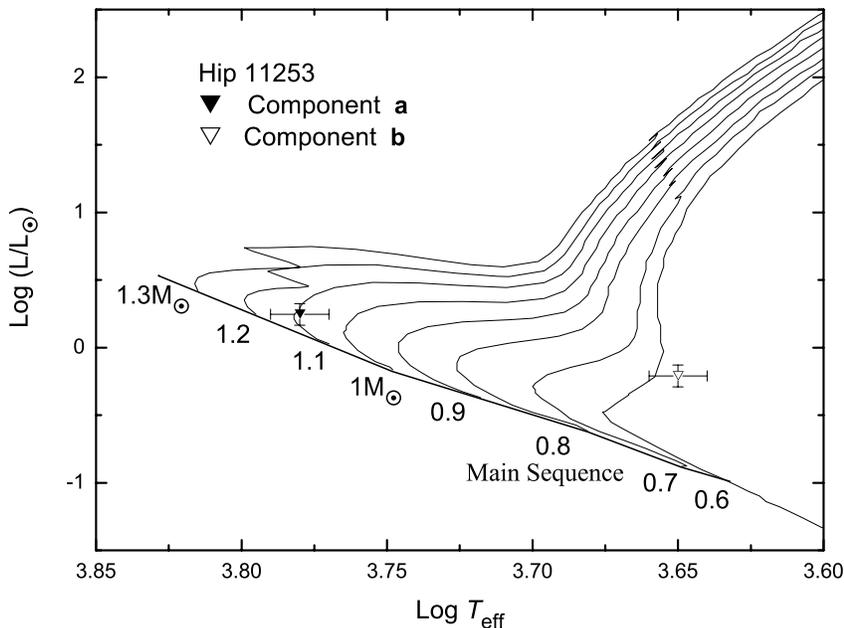


Рис. 4. Компоненты системы на эволюционных треках из работы Жерарди и др. [16].

Таблица 6. Параметры компонентов системы

Параметры	Компонент	
	a	b
Масса (M_{\odot})	1.06	0.70
Спектр. класс	G0	K4.5
T_{eff} (K)	6030 ± 100	4470 ± 130
Радиус (R_{\odot})	1.22 ± 0.09	1.32 ± 0.20
$\log g$	4.27 ± 0.13	4.04 ± 0.13

ны и цвета системы и компонентов в полосах систем UBV_R Джонсона–Казинса, *uvby* Стрёмгрена и BV Тихо;

- предположено, что захват — наиболее вероятный процесс формирования и эволюции системы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы благодарим Карлоса Абиа из Факультета Теоретической Физики и Космоса Университета Гранады за замечания и дискуссию. В этой работе мы использовали программу CHORIZOS для фотометрического и спектрофотометрического анализа данных (<http://www.stsci.edu/jmaiz/software/chorizos/chorizos.html>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. A. Al-Wardat, AN **328**, 63 (2007).
2. M. A. Al-Wardat, AN **330**, 385 (2009).
3. The Hipparcos and Tycho Catalogues. European Space Agency, 1997.
4. B. Nordstrom et al., *Astronom. and Astrophys.* **418**, 989 (2004).
5. M.A. Al-Wardat, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 58 (2002).
6. M. A. Al-Wardat, *Astrophysical Bulletin* **63**, 361 (2008).
7. K. R. Lang, *Astrophysical data* (Springer-Verlag, New York, 1992).
8. I.I. Balega, Yu. Yu. Balega, K.H. Hofman, et al., *Astronom. and Astrophys.* **385**, 87 (2002).
9. I. I. Balega, Yu. Yu. Balega, A.F. Maksimov, et al., *Astronom. and Astrophys.* **422**, 627 (2004).
10. I. I. Balega, Yu. Yu. Balega, A. F. Maksimov, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **59**, 20 (2006).
11. I. I. Balega, Yu. Yu. Balega, A. F. Maksimov, et al., *Astrophysical Bulletin* **62**, 339 (2007).
12. R. Kurucz, CD-ROM №19 (1994).
13. N. I. Shatskii and A. A. Tokovinin, *Pis'ma Astronom. Zh.* **24**, 780 (1998).
14. J. Maiz Apellaniz, *Astronom. J.* **131**, 1184 (2006).
15. J. Maiz Apellaniz, *ASP Conference* **364**, 227 (2007).
16. L. Girardi, A. Bressan, G. Bertelli, and C. Chiosi, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **141**, 371 (2000).
17. I. A. Bonnell, *ASP Conference* **200**, 23 (2001).
18. A. S. Fabian, J. E. Pringle, and M. J. Rees, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **172**, 15 (1975).
19. J. Binney and S. Tremaine, *Galactic dynamics* (Princeton University Press, Princeton, 1987).

PARAMETERS OF THE VISUALLY CLOSE BINARY SYSTEM HIP11253 (HD14874)**M. A. Al-Wardat, H. Widyan**

The physical and geometrical parameters of the individual components of the binary system Hip11253 (HD14874) were estimated. We used the same method described in the previous papers, which depends on getting the best fit between the entire observational spectral energy distribution of the system and synthetic ones created from model atmospheres. The parameters of the individual components of the system were derived as: $T_{\text{eff}}^{\text{a}} = 6030 \pm 100 \text{ K}$, $T_{\text{eff}}^{\text{b}} = 4470 \pm 130 \text{ K}$, $\log g_{\text{a}} = 4.27 \pm 0.13$, $\log g_{\text{b}} = 4.04 \pm 0.13$, $R_{\text{a}} = 1.22 \pm 0.09 R_{\odot}$, $R_{\text{b}} = 1.32 \pm 0.20 R_{\odot}$, with G0 spectral type for the primary and K4.5 for the secondary. The synthetic magnitudes and of both components were calculated using Johnson-Cousins, Strömgen, and Tycho photometrical systems. Finally the formation and evolution of the system was discussed.

Key words: *stars—properties, classification*