

УДК 524.382-352:520.844

## ВЫЧИСЛЕННЫЕ ЗВЁЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ

© 2008 М. А. Аль-Вардат<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>*Dpto. Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, 18071 Granada, Spain*

<sup>2</sup>*Department of Physics, Al-Hussein Bin Talal University, P.O.Box 20, 71111, Ma'an, Jordan*

Поступила в редакцию 1 сентября 2008 г.; принята в печать 30 сентября 2008 г.

В настоящей работе вычислены звёздные величины и показатели цвета сорока шести спекл-интерферометрических звёзд по наблюдаемому спектральному распределению энергии. В фотометрических системах Стрёмгрена *vby* и Тихо BV вычислены полные звёздные величины систем. Эти данные вместе с разностью величин компонентов, определённой из спекл-интерферометрических наблюдений, позволяют установить параметры каждого из компонентов системы. В дальнейшем они позволят больше узнать о формировании и эволюции двойных звёзд.

Key words: *звезды — свойства, классификация*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Большинство звёзд нашей Галактики входят в состав двойных или кратных систем. Отсюда следует важность изучения двойных систем для определения некоторых ключевых физических и геометрических параметров звёзд: эффективных температур, радиусов, масс, поверхностных гравитационных потенциалов и др. в дополнение к элементам орбиты. Трудность изучения двойных систем обусловлена визуальной близостью компонентов большинства из них, что часто делает их неразрешимыми, за исключением случаев, когда они изучаются при помощи современной техники, например, спекл-интерферометрии или адаптивной оптики. На сегодняшний день сотни двойных систем, особенно с орбитальными периодами порядка нескольких лет, систематически наблюдаются разными группами астрономов по всему миру. Результаты этих наблюдений приведены в Четвёртом Каталоге Интерферометрических Измерений Двойных Звёзд (<http://ad.usno.navy.mil/wds/int4.html>). А список систем с известными орбитами опубликован в Шестом Каталоге Орбит Визуально-Двойных Звёзд (<http://ad.unso.navy.mil/wds/orb6.html>), который содержит точные элементы орбит и массы для широкого диапазона спектральных классов.

Определение физических параметров отдельных компонентов звёздных систем очень важно,

так как это даёт нам способ калибровки при исследовании точности соотношений между физическими характеристиками звезд, а также позволяет понять процесс формирования и развития таких систем, следовательно, всей Галактики в целом. Существуют разные методы оценки параметров отдельных компонент. Самыми важными из них являются метод Аль-Вардата [1], который основан на моделировании атмосфер отдельных компонентов для вычисления полных параметров системы, и метод Соуэлла-Уилсона [2], в котором используются интегрированные величины и отношения светимости в избранных длинах волн (в полосах Стрёмгрена) для определения яркости и цвета каждого компонента. Оба метода зависят от разности величин компонентов, которая обычно определяется в спекл-интерферометрических наблюдениях, если эта разность не меньше определённого предела. Этот предел зависит от апертуры телескопа, аппаратуры и погодных условий. Таким образом, звёздные величины систем представляют особую важность для вышеназванных методов. В этой работе мы определяем величины в фотометрических системах Стрёмгрена и Тихо в дополнение к модифицированной согласно новому нуль-пункту Болина и Гилиланда [3] величине  $V_J$ .

Звёзды для исследования были отобраны из программы спекл-интерферометрии Специальной астрофизической обсерватории РАН. Большинство из них впервые были разрешены при помощи спутника Hipparcos и до сих пор регулярно наблюдаются по разным программам спекл-интерферометрии и адаптивной оптики.

\*E-mail: [mashhoor@ugr.es](mailto:mashhoor@ugr.es)

2. МЕТОДИКА

Наблюдаемое распределение энергии в спектрах звёзд в диапазоне от 3700 до 8300Å было взято из работ [4–6]. Спектры низкого разрешения получены на 1-метровом телескопе Цейсс со спектрографом UAGS в следующие ночи: 28 января, 4 февраля, 25 – 27 мая и 20 – 21 июля 2002 года. Синтетические звёздные величины были вычислены по наблюдённому спектральному распределению энергии с использованием следующего соотношения [7, 8]:

$$m_p [F_{\lambda,s}(\lambda)] = -2.5 \log \frac{\int P_p(\lambda) F_{\lambda,s}(\lambda) \lambda d\lambda}{\int P_p(\lambda) F_{\lambda,r}(\lambda) \lambda d\lambda} + ZP_p, \quad (1)$$

где  $m_p$  — звёздная величина в полосе  $p$ ,  $P_p(\lambda)$  — безразмерная кривая пропускания полосы  $p$ ,  $F_{\lambda,s}(\lambda)$  — наблюдаемое распределение энергии в спектре объекта, а  $F_{\lambda,r}(\lambda)$  — распределение энергии в спектре опорной звезды (Вега).  $ZP_p$  является нуль-пунктом для фильтра  $p$ , который представляет собой величину  $m_p$  стандартной звезды (Вега). Например, было обнаружено [3], что  $ZP_V = 0.026 + 0.008$  для  $V$ -фильтра системы Джонсона. Нуль-пункты всех полос пропускания, использованных в вычислениях, приведены в Таблице 1.

Спектральное распределение энергии  $F(\lambda)$  измеряется в единицах энергии, падающей за единицу времени на единичную площадку в единичном интервале длин волн. Для перехода к числу фотонов необходимо умножить оба интеграла в (1) на  $\lambda/hc$ , при этом постоянная  $hc$  сокращается. Переход к числу фотонов сделан потому, что исходное распределение было получено с использованием счётчика фотонов (CCD), а не болометра [7]. Для всех

фильтров использовались кривые чувствительности счётчиков фотонов, рекомендованные Маизом Апелланизом [7].

Таблица 1. Использованные нуль-пункты

Система	Фильтр	Нуль-пункт	Ссылки
Джонсон	$V$	+0.026	[3]
Стрёмгрен	$v$	+0.179	[7], [9]
	$b$	+0.018	[7], [9]
	$y$	+0.014	[9]
Тихо	$B_T$	+0.069	[7], [8]
	$V_T$	+0.032	[7]

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты приведены в Таблице 2. В первой колонке даётся название звезды, во второй — звёздная величина Джонсона  $V$  с учётом нового нуль-пункта. В колонках с третьей по седьмую приводятся величины в системе Стрёмгрена и показатели цвета  $v - b$  и  $b - y$ . Величины  $BV$  и  $(B - V)$  Тихо перечислены в колонках 8 – 10. В качестве ошибок взяты ошибки наблюдательных данных, которые были приняты в [4] как максимальные величины ошибок по всем измерениям. Следовательно, максимальные ошибки для  $vby$ -величин в системе Стрёмгрена и  $BV$ -величин в системе Тихо равны 0.06 звёздной величины, а для показателей цвета — 0.08 звёздной величины. Следует отметить, что ошибки в системе Стрёмгрена меньше принятых, так как полосы пропускания в ней уже полос системы Джонсона, которые были использованы в [4].

Таблица 2. Вычисленные звёздные величины и показатели цвета в системе Джонсона ( $V_J$  исправлена за новый нуль-пункт), в системах Стрёмгрена и Тихо

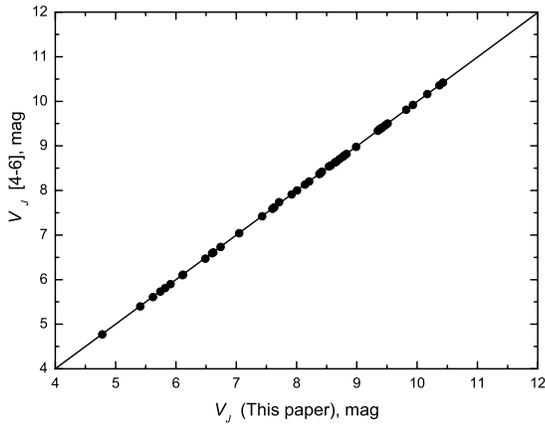
Звезда	$V_J$	Стрёмгрен					Тихо		
		$v$	$b$	$y$	$v-b$	$b-y$	$B_T$	$V_T$	$(B - V)_T$
Hip689	7.43	8.35	7.80	7.39	0.55	0.42	8.18	7.50	0.67
Hip1055	10.43	12.46	11.16	10.34	1.30	0.82	12.03	10.60	1.42
Hip4809	6.74	7.85	7.14	6.70	0.72	0.44	7.64	6.81	0.82
Hip11253	8.21	9.23	8.65	8.16	0.58	0.50	9.04	8.30	0.75
Hip11352	8.01	9.15	8.47	7.96	0.68	0.51	8.94	8.10	0.84
Hip12552	8.54	9.48	8.90	8.51	0.58	0.39	9.29	8.62	0.67
Hip14230	7.05	7.95	7.41	7.01	0.54	0.40	7.76	7.12	0.64

**Таблица 2.** Вычисленные звёздные величины и показатели цвета в системе Джонсона ( $V_J$  исправлена за новый нуль-пункт), системах Стрёмгrena и Тихо (Продолжение)

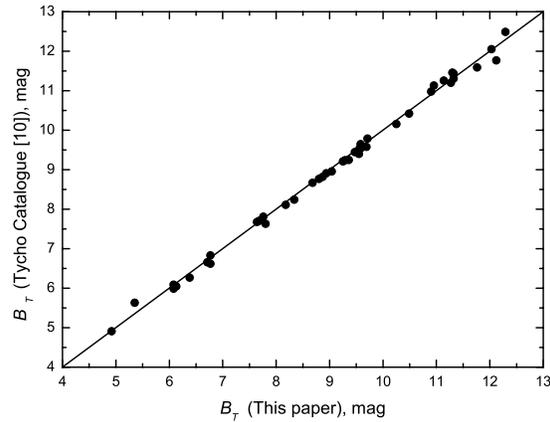
Звезда	$V_J$	Стрёмгрен					Тихо		
		$v$	$b$	$y$	$v-b$	$b-y$	$B_T$	$V_T$	$(B - V)_T$
Hip14669	10.17	12.58	11.14	10.09	1.44	1.04	12.12	10.37	1.75
Hip17491	7.71	9.12	8.24	7.68	0.89	0.56	8.87	7.81	1.05
HD25811	8.64	9.31	8.91	8.61	0.40	0.30	9.14	8.70	0.44
Ad Leo	9.35	11.74	10.35	9.26	1.39	1.09	11.28	9.54	1.74
Hip51945	8.66	9.80	9.10	8.62	0.69	0.49	9.58	8.74	0.84
Wolf424	12.51	15.26	13.70	12.44	1.56	1.25	14.79	12.70	2.09
Hip64838	6.49	6.85	6.54	6.47	0.31	0.08	6.71	6.50	0.21
Hip65011	9.47	11.71	10.39	9.39	1.32	1.00	11.30	9.66	1.64
Hip66008	10.37	12.81	11.26	10.30	1.55	0.96	12.29	10.56	1.73
Hip70973	7.63	8.91	8.14	7.59	0.77	0.56	8.68	7.73	0.95
Hip72479	8.38	9.84	8.94	8.32	0.91	0.62	9.56	8.49	1.07
Hip77725	9.38	11.61	10.20	9.31	1.40	0.89	11.14	9.56	1.58
Hip78864	8.39	9.79	8.96	8.34	0.83	0.62	9.55	8.51	1.04
Hip55266	4.78	5.03	4.80	4.76	0.22	0.04	4.92	4.79	0.12
Hip75529	8.83	9.88	9.32	8.79	0.56	0.53	9.71	8.93	0.79
Hip79796	9.93	12.20	10.88	9.85	1.31	1.04	11.76	10.12	1.64
Hip81470	9.51	10.74	9.90	9.46	0.84	0.44	10.49	9.59	0.90
Hip82817	8.99	11.40	9.91	8.90	1.50	1.01	10.90	9.17	1.73
Hip83064	8.14	8.99	8.42	8.10	0.57	0.32	8.80	8.19	0.60
Hip83791	8.57	9.45	8.86	8.54	0.58	0.33	9.25	8.63	0.62
Hip84140	9.42	11.71	10.32	9.32	1.38	1.00	11.27	9.59	1.68
Hip87991	9.82	11.79	10.38	9.73	1.40	0.65	11.32	9.95	1.37
Hip88127	6.11	6.97	6.42	6.08	0.55	0.34	6.77	6.17	0.59
Hip88136	5.74	6.59	6.03	5.71	0.56	0.32	6.38	5.79	0.59
Hip88817	5.82	6.21	5.93	5.79	0.28	0.14	6.08	5.85	0.22
Hip88818	5.91	6.26	5.97	5.88	0.28	0.10	6.13	5.93	0.19
Hip94056	9.39	11.36	10.09	9.32	1.27	0.77	10.95	9.56	1.39
Hip94720	5.62	5.42	5.52	5.62	-0.10	-0.10	5.35	5.61	-0.26
Hip95995	6.62	7.90	7.14	6.56	0.75	0.58	7.69	6.72	0.96
Hip96302	5.41	6.25	5.81	5.37	0.44	0.44	6.08	5.50	0.59
Hip98538	8.71	12.22	10.29	8.78	1.93	1.51	11.32	8.91	2.42
Hip101227	8.42	9.70	8.94	8.38	0.76	0.56	9.47	8.53	0.94

**Таблица 2.** Вычисленные звёздные величины и показатели цвета в системе Джонсона ( $V_J$  исправлена за новый нуль-пункт), системах Стрёмгрена и Тихо (Продолжение)

Звезда	$V_J$	Стрёмгрен					Тихо		
		$v$	$b$	$y$	$v-b$	$b-y$	$B_T$	$V_T$	$(B - V)_T$
Hip101955	7.92	10.05	8.64	7.84	1.41	0.80	9.58	8.08	1.50
Hip103256	8.79	10.63	9.41	8.72	1.23	0.69	10.25	8.92	1.33
Hip105947	7.60	8.55	7.91	7.56	0.63	0.36	8.34	7.65	0.69
Hip109281	6.60	8.13	7.14	6.54	0.99	0.60	7.80	6.69	1.11
Hip109951	8.77	9.90	9.20	8.72	0.69	0.48	9.69	8.85	0.84
Hip111170	6.12	6.97	6.39	6.07	0.58	0.31	6.77	6.16	0.61
Hip112695	8.40	9.61	8.83	8.36	0.78	0.47	9.36	8.48	0.89



**Рис. 1.** Сравнение величин  $V_J$ , исправленных за новый нуль-пункт, с величинами из [4–6], где нуль-пункт принят  $0.03^m$ .



**Рис. 2.** Сравнение величин  $B_T$ , вычисленных в этой работе, с величинами из [10].

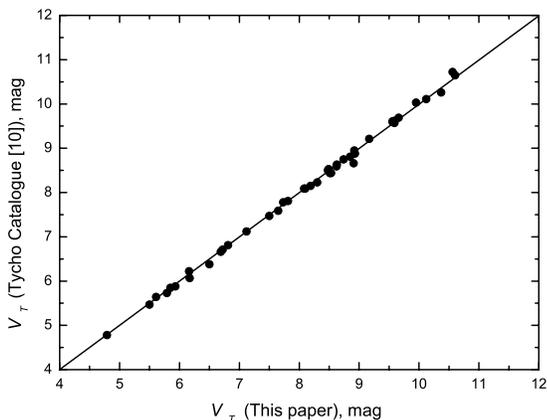
На Рис.1 сравниваются величины  $V_J$ , модифицированные в соответствии с новым нуль-пунктом, с величинами, полученными в [4–6], в которых за нуль-пункт была принята величина  $0.03^m$ . Видно, что результаты хорошо согласуются вследствие малой разницы в нуль-пунктах. На Рис.2 и 3 сравниваются вычисленные величины  $B_T$  и  $V_T$  со взятыми из каталога Тихо [10]. Эти рисунки показывают хорошее согласие результатов между собой и, следовательно, достоверность вычисленных звёздных величин и цветов в системе Стрёмгрена.

В нашей программе и программе Соуэлла-Уилсона [2] было 8 общих звёзд. На Рис.4 сравниваются величины  $m_V$ , посчитанные с помощью обеих программ. Видно явное несоответствие величины для звезды Hip88818 (HD 166045).

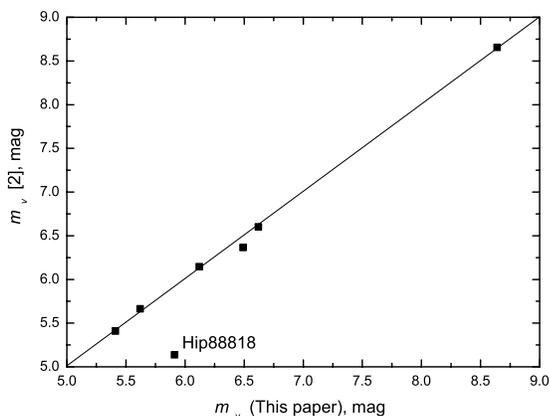
Видимо, авторы [2] при её измерениях включили соседнюю звезду Hip88817 (HD166046), которую посчитали спутником. Они отметили, что при измерении блеска Hip88818 включили спутник, а звезда Hip88817 в их программе не появилась. Каталоги SIMBAD и Tycho для звезды Hip88818 дают видимую звёздную величину 5.87 и 5.876, что ближе к нашей оценке.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Звёздные величины и цвета 46-ти спекл-интерферометрических двойных систем были вычислены по их наблюдаемому спектральному распределению энергии. Величины вычислены в системе Джонсона, модифицированной в соответствии с новым нуль-пунктом ( $V_J$ ), Стрёмгрена



**Рис. 3.** Сравнение величин  $V_T$ , вычисленных в этой работе, с величинами из [10].



**Рис. 4.** Сравнение величин  $m_V$ , вычисленных в этой работе, с величинами из [2].

(*vby*) и Тихо (*BV*). Полученные звездные величины и цвета могут быть использованы для оценки параметров отдельных компонент двойных систем, если известна разность блеска компонент в любой из этих полос пропускания.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Мне бы хотелось поблагодарить доктора Маиза Апелланиза из Андалузского института астрофизики (CSIC) за ценные замечания. В работе использована программа CHORIZOS анализа фотометрических и спектральных данных (<http://www.stsci.edu/jmaiz/software/chorizos/chorizos.html>). Работа написана на кафедре теоретической физики космоса Университета Гранады при финансовой поддержке Евросоюза (Erasmus Mundus External Cooperation Window Lot 3).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. A. Al-Wardat, *Astronomische Nachrichten*, **328**, 63 (2007).
2. J. R. Sowell and J. W. Wilson, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **105**, 36 (1993).
3. R. C. Bohlin and R. L. Gilliland, *Astronom. J.* **127**, 3508 (2004).
4. M. A. Al-Wardat, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 58 (2002).
5. M. A. Al-Wardat, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 29 (2002).
6. M. A. Al-Wardat, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **55**, 18 (2003).
7. J. Maíz Apellániz, *Astronom. J.* **131**, 1184 (2006), arXiv:astro-ph/0510785.
8. J. Maíz Apellániz, *Astronom. Soc. Pacific Conf. Ser.* **364**, 227 (2007).
9. J. B. Holberg and P. Bergeron, *Astronom. J.* **132**, 1221 (2006).
10. ESA, VizieR Online Data Catalog.

## SYNTHETIC PHOTOMETRY OF SPECKLE INTERFEROMETRIC BINARIES

M. A. Al-Wardat

The synthetic magnitudes and color indices of 46 speckle interferometric stars have been computed depending on their observational spectral energy distributions. The Strömgren *vby* and Tycho *BV* passbands have been used to calculate magnitudes of the systems. These data when combined with the magnitude differences of the sub-components from speckle interferometry observations will allow the finding of the parameters of the individual components. These parameters will improve our knowledge about binary system formation and evolution.