

УДК 524.333.3-17

КЛАССИЧЕСКИЕ ЦЕФЕИДЫ: НОВАЯ ВЕРСИЯ МЕТОДА БААДЕ–БЕККЕРА–ВЕССЕЛИНКА

© 2011 А. С. Расторгуев*, А. К. Дамбис

Гос. астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119992,
Москва, Университетский проспект, д. 13

Поступила в редакцию 15 ноября 2010 г.; принята в печать 29 ноября 2010 г.

Предложена новая версия метода Бааде–Беккера–Весселинка, позволяющая, помимо радиуса, светимости и расстояния радиально-пульсирующей переменной звезды, независимым образом определить ее покраснение и нормальный показатель цвета. Метод представляет собой обобщение подхода Балона. Кроме того, для рассматриваемого класса пульсирующих переменных звезд становится возможной независимая калибровка функции $F(CI_0) = BC(CI_0) + 10 \times \log(T_{eff}(CI_0))$. Полученные новым методом величины покраснения нескольких классических цефеид с высокоточными кривыми изменения блеска и лучевых скоростей, являющихся уверенными членами рассеянных скоплений (SZ Tau, CF Cas, U Sgr, DL Cas, GY Sge), показали хорошее согласие с оценками избытков цвета самих скоплений. Новый подход можно также применять и к другим пульсирующим переменным звездам, например, к RR-Лиридам.

Ключевые слова: *звезды — переменные, цефеиды классические*

1. ВВЕДЕНИЕ

Классические цефеиды являются основными “стандартными свечами”, устанавливающими нуль-пункт внегалактической шкалы расстояний [1], и важнейшими индикаторами свойств молодого населения галактик [2]. Особая роль цефеид объясняется их высокой светимостью и характерной фотометрической переменностью (что позволяет легко идентифицировать и изучать их даже на больших расстояниях), а также тесной связью их светимостей, нормальных цветов и возрастов с весьма легко определяемыми из наблюдений величинами — периодами пульсаций.

Лучшим способом калибровки зависимостей период–светимость (PL), период–цвет (PC) цефеид и период–светимость–цвет могли бы быть расстояния, определенные тригонометрическими методами, однако даже наиболее точные тригонометрические параллаксы ближайших цефеид пока недостаточно надежны и, что более важно, могут быть обременены неидентифицированными систематическими ошибками. Другим источником калибровки может служить метод Бааде–Беккера–Весселинка [3–5], позволяющий вычислить расстояния цефеид (одновременно с их другими физическими параметрами) и, следовательно, обеспечить независимую проверку результатов, полученных геометрическими методами

(например, тригонометрических и статистических параллаксов).

Однако предложенные до сих пор варианты метода Бааде–Беккера–Весселинка — метод поверхностной яркости [6], метод максимального правдоподобия (или моделирования кривой блеска) [7] — так или иначе используют взятую из сторонних источников величину межзвездного покраснения. Оба варианта выводятся из единых астрофизических соотношений, но опираются на разные калибровочные соотношения по нормальному (не искаженному межзвездным покраснением) цвету: первый — для параметра поверхностной яркости с учетом потемнения диска звезды к краю; второй — для болометрической поправки и эффективной температуры. Мы предлагаем обобщение подхода [7], позволяющее не только определить расстояние звезды и ее физические характеристики, но и независимым образом оценить величину межзвездного покраснения и даже в ряде случаев рассчитать зависимость калибровочного параметра, представляющего собой линейную комбинацию болометрической поправки с логарифмом эффективной температуры, от нормального цвета.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Кратко укажем физические обоснования и особенности предлагаемой методики. Во-первых,

*E-mail: rastor@sai.msu.ru

болометрическая светимость звезды в некоторой пульсационной фазе задается соотношением, непосредственно следующим из закона Стефана–Больцмана:

$$L/L_{\odot} = (R/R_{\odot})^2 \times (T/T_{\odot})^4. \quad (1)$$

Здесь L , R , и T — болометрическая светимость, радиус и эффективная температура соответственно, и индекс \odot относится к тем же величинам для Солнца. С учетом того, что болометрическая абсолютная величина M_{bol} выражается через болометрическую светимость как

$$M_{bol} = M_{bol\odot} - 2.5 \times \log(L/L_{\odot}), \quad (2)$$

мы легко получаем из ф-лы (1):

$$M_{bol} - M_{bol\odot} = -5 \times \log(R/R_{\odot}) - 10 \times \log(T/T_{\odot}). \quad (3)$$

Теперь выразим болометрическую абсолютную величину M_{bol} через абсолютную величину M в выбранной фотометрической полосе и соответствующее значение болометрической поправки BC :

$$M_{bol} = M + BC, \quad (4)$$

и запишем выражение для абсолютной величины M :

$$M = m - A - 5 \times \log(d/10 \text{ pc}). \quad (5)$$

Здесь m , A , и d — видимая звездная величина и межзвездное поглощение в выбранной фотометрической полосе соответственно, а d — гелиоцентрическое расстояние звезды, выраженное в парсеках. Следовательно, мы можем переписать формулу (3) в виде:

$$m = A + 5 \times \log(d/10 \text{ pc}) + M_{bol\odot} + 10 \times \log(T_{\odot}) - 5 \times \log(R/R_{\odot}) - BC - 10 \times \log(T). \quad (6)$$

Введем функцию (зависящую от нормального цвета) $F(CI_0) = BC + 10 \times \log(T)$, видимый модуль расстояния $(m - M)_{app} = A + 5 \times \log(d/10 \text{ pc})$ и перепишем формулу (6) в виде удобном для моделирования кривой блеска:

$$m = Y - 5 \times \log(R/R_{\odot}) - F, \quad (7)$$

где введено обозначение постоянной

$$Y = (m - M)_{app} + M_{bol\odot} + 10 \times \log(T_{\odot}).$$

Как известно, величину межзвездного поглощения A можно выразить через избыток цвета CE как $A = R_{\lambda} \times CE$, где R_{λ} — это отношение полного поглощения к селективному для пары блеск–цвет в выбранной фотометрической полосе. Относящиеся к Солнцу величины $M_{bol\odot}$, R_{\odot} и T_{\odot} считаются хорошо известными. Введенная выше калибровочная функция $F(CI_0) = BC + 10 \times \log(T)$ зависит от нормального показателя цвета $CI_0 = CI - CE$.

В работе [7], используя весьма грубую линейную аппроксимацию для логарифма эффективной температуры и болометрической поправки, автор привел правую часть выражения для модели кривой блеска (7) к линейному виду по наблюдаемому показателю цвета с коэффициентами, содержащими избыток цвета в скрытой форме. Следует отметить, что Сачков и др. [8, 9] в отличие от Балоны [7], использовали при вычислении пульсационных радиусов цефеид уже более адекватную нелинейную аппроксимацию в модели (7).

Ключевой пункт предлагаемого нами подхода состоит в том, что функция F может быть непосредственно вычислена с использованием существующих калибровок болометрической поправки $BC(CI_0)$ и эффективной температуры $T(CI_0)$ [10–16]. Опубликованные калибровки записываются в виде степенных рядов высокого порядка по нормальному показателю цвета:

$$F(CI_0) = a_0 + \sum_{k=1}^N a_k \times CI_0^k, \quad (8)$$

с известными коэффициентами $\{a_k\}$ и значениями N , достигающими 7; в некоторых случаях разложения содержат члены с металличностью ($[Fe/H]$) и/или ускорением силы тяжести ($\log g$).

В выражение (7) входит текущий радиус цефеиды R . Его изменение относительно некоторого выбранного значения радиуса R_0 вычисляется путем интегрирования наблюдаемой кривой изменения лучевой скорости по времени ($dt = (P/2\pi) \times d\varphi$):

$$R(t) - R_0 = -pf \times \int_{\varphi_0}^{\varphi} (V_r(t) - V_{\gamma}) \times (P/2\pi) \times d\varphi, \quad (9)$$

где R_0 — величина радиуса для фазы пульсаций φ_0 (мы используем среднюю величину радиуса, $\langle R \rangle = (R_{min} + R_{max})/2$); V_{γ} — скорость системы; φ — текущая пульсационная фаза; P — период пульсаций, а pf — так называемый P -фактор (от Projection Factor), модуль отношения скорости пульсирующей атмосферы к измеренной лучевой скорости. После подстановки в уравнение (7) рядов наблюдаемых величин (кривой блеска — видимых величин m , цветовой кривой — видимого показателя цвета CI и кривой изменения лучевой скорости — V_r), а также известных солнечных параметров, в качестве неизвестных величин останутся расстояние d , средний радиус $\langle R \rangle$ и избыток цвета CE , которые могут быть легко вычислены методом наименьших квадратов (или методом максимального правдоподобия).

К цефеидам с большой амплитудой кривой блеска и цвета ($\Delta CI \geq 0.4^m$) можно применить

более общий вариант метода, в котором коэффициенты $\{a_k\}$ разложения (8) также считаются неизвестными. Для этой цели мы разлагали функцию $F = BC + 10 \times \log(T)$ в правой части выражения (7) в ряд по степеням разности нормальных показателей цвета цефеиды ($CI_0 = CI - CE$) и хорошо изученной звезды-стандарта CI_0^{st} , например, α Per или другой яркой звезды постоянного блеска с надежно определенной эффективной температурой T^{st} :

$$F = BC^{st} + 10 \times \log(T^{st}) + \sum_{k=1}^N a_k \times (CI - CE - CI_0^{st})^k. \quad (10)$$

Наилучшее представление наблюдаемой кривой блеска получено для разложений порядка $N \simeq 5 - 9$. Данная модификация нашего метода применена для совместного вычисления физических характеристик и покраснений CE ряда цефеид с известной металличностью $[Fe/H]$ и уточнения калибровочной функции $F(CI_0) = BC(CI_0) + 10 \times \log(T_{eff}(CI_0))$.

3. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, ПАРАМЕТРЫ И КАЛИБРОВКИ

Источниками наблюдательных данных послужили массовые многоцветные фотоэлектрические и ПЗС-наблюдения классических цефеид, выполненные Бердниковым [17, 18], а также высокоточные измерения лучевых скоростей 165 цефеид северного неба [19–22], проведенные в 1987–2009 г. (около 10500 индивидуальных измерений) с помощью корреляционного спектрометра типа CORAVEL [23]. Ряды фотометрических и спектральных наблюдений можно считать практически синхронными. Это обстоятельство крайне важно для исключения возможных систематических ошибок в вычисленных радиусах и других характеристиках, поскольку неучет эволюционных изменений периодов может привести к фазовым сдвигам между кривыми блеска, цвета и лучевых скоростей [8]. Мы приняли $T_{\odot} = 5777$ К, $M_{bol\odot} = +4.76^m$ [24]. Вычисления проведены для кривых блеска и цвета ($V, B - V$), а лучшее согласие наблюдаемой и модельной кривой блеска достигнуто с калибровками функции $F((B - V)_0)$, выведенными на основе двух калибровок болометрической поправки и эффективной температуры [10, 11], имеющих практически одинаковый наклон (см. Рис. 2 е). Использование других упомянутых калибровок не приводит к столь же хорошему модельному представлению наблюдаемой кривой блеска, возможно, потому, что при их выводе было использовано недостаточное число звезд-сверхгигантов.

4. ЗНАЧЕНИЯ P -ФАКТОРА

До сих пор нет единого мнения о значении P -фактора, которое следует использовать при расчете радиусов цефеид [25–28]. Различными авторами использованы как постоянные значения P -фактора в диапазоне от 1.27 до 1.5, так и переменные, зависящие от периода пульсации и других параметров. Разные подходы приводят к небольшим систематическим различиям вычисляемых параметров, в первую очередь — средних радиусов. Основываясь на геометрическом рассмотрении, Расторгуев [30] предложил использовать простое трехпараметрическое представление для P -фактора, зависящего от пульсационной скорости, коэффициента потемнения к краю звездного диска и инструментальной ширины профиля, специально ориентированное на корреляционные измерения лучевых скоростей. Мы полагаем, что отмечаемое рядом авторов уменьшение P -фактора с периодом может отражать, главным образом, изменение коэффициента потемнения к краю диска. Для возможности сравнения с другими работами мы привели результаты расчетов, выполненных в предположении умеренной зависимости P -фактора от периода [27]:

$$pf = (-0.064 \pm 0.020) \times \log(P, \text{days}) + (1.376 \pm 0.023), \quad (11)$$

хотя провели расчеты и с другими вариантами зависимости P -фактора от периода и/или пульсационной фазы, чтобы убедиться в устойчивости вычисленных избытков цвета.

5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Тестирование нового метода проводилось с использованием фотоэлектрических кривых блеска в полосе V и цветов $B - V$ для нескольких цефеид, считающихся уверенными членами молодых звездных скоплений и группировок — SZ Tau (NGC 1647), CF Cas (NGC 7790), U Sgr (IC 4725), DL Cas (NGC 129), GY Sge (анонимная OB-ассоциация [29], а также примерно для 30 цефеид поля. Наилучшее воспроизведение наблюдаемых кривых блеска в рамках модели (7) обеспечивают две калибровки $\log(T_{eff})$, [10] и [11], используемые совместно с калибровкой $BC(V)$ по нормальному цвету $(B - V)_0$ [10]. Обнаружена очень слабая зависимость вычисляемого значения покраснения E_{B-V} от принятого значения P -фактора (постоянного или зависящего от периода/фазы пульсаций) и от выведенного среднего радиуса $\langle R \rangle$. Устойчивость расчетов, по нашему мнению, объясняется сильной зависимостью амплитуды модельной кривой изменения блеска к

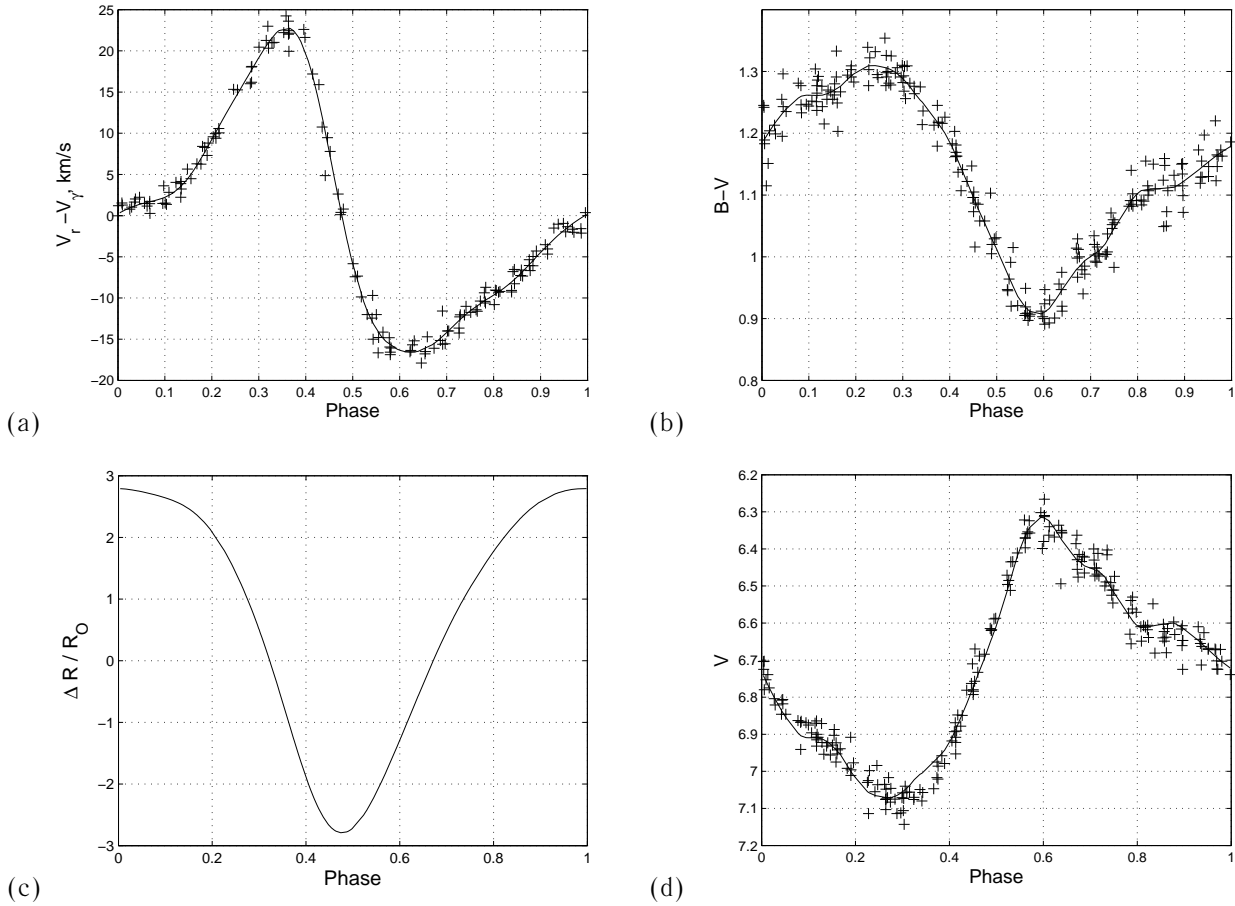


Рис. 1. (a): Наблюдаемая и сглаженная кривая изменения лучевой скорости цефеиды U Sgr. Стандартное отклонение $\sigma_{V_r} = 1.1 \text{ km/s}$. (b): Наблюдаемая и сглаженная кривая изменения показателя цвета ($B - V$). (c): Изменение радиуса с пульсационной фазой. (d): Наблюдаемая и модельная кривая блеска в полосе V .

эффективной температуре ($\sim 10 \times \log(T)$) и, как следствие, к цвету, исправленному за покраснение.

Внутренняя ошибка оценок покраснения E_{B-V} незначительна, но выведенные по “лучшим” калибровкам [10, 11] покраснения могут различаться на $0.03 - 0.05^m$ из-за систематического сдвига между калибровками (Рис. 2 е). В Таблице приведены полученные для цефеид, членов скоплений, параметры. На Рис. 1 показаны наблюдаемые и сглаженные данные и модель кривой блеска в полосе V для цефеиды U Sgr. Вычисленные значения покраснений хорошо согласуются с соответствующими величинами для скоплений, приведенными в базе данных WEBDA, особенно, если учесть, что типичные ошибки избытков цвета рассеянных скоплений могут достигать $\pm 0.05^m$. Следующим этапом нашего исследования будет использование калибровок T_{eff} и BC , зависящих от других нормальных цветов, например, $(V - R)_0$, $(V - I)_0$, $(V - K)_0$, а также сравнение полученных отношений избытков цвета с принятыми законами поглощения.

Отметим, что вычисленные значения радиуса и

светимости цефеиды SZ Tau слишком велики для ее сравнительно короткого периода; скорее всего, цефеида пульсирует в 1-м или даже 2-м обертонах, на что косвенно указывает малая амплитуда ее цветовой кривой (около 0.15^m).

На Рис. 2 показаны исходные и сглаженные кривые лучевых скоростей и цвета для цефеиды TT Aql, исходная и модельная кривые блеска в полосе V , а также выведенная нами калибровка функции $F = 10 \times \log(T_{eff}) + BC(V)$ по $(B - V)_0$ (в виде разложения 5-го порядка по разности нормальных цветов звезды и стандарта). Выведенная калибровка (Рис. 2 е) незначительно отличается от калибровки [10]. В качестве звезды-стандарта мы использовали α Per, для которой $T^{st} \approx (6240 \pm 20) \text{ K}$, $[Fe/H] \approx -0.28 \pm 0.06$ [31], $(B - V)^{st} \approx 0.48^m$ и $E_{B-V} \approx 0.09^m$ (WEBDA, для близкого скопления α Per). Чтобы учесть влияние различия металличностей (цефеид и “стандарта”) на нуль-пункт функции $F(CI_0)^{st}$, мы оценили величину градиента $dF(CI_0)^{st}/d[Fe/H] \approx +0.24$ по

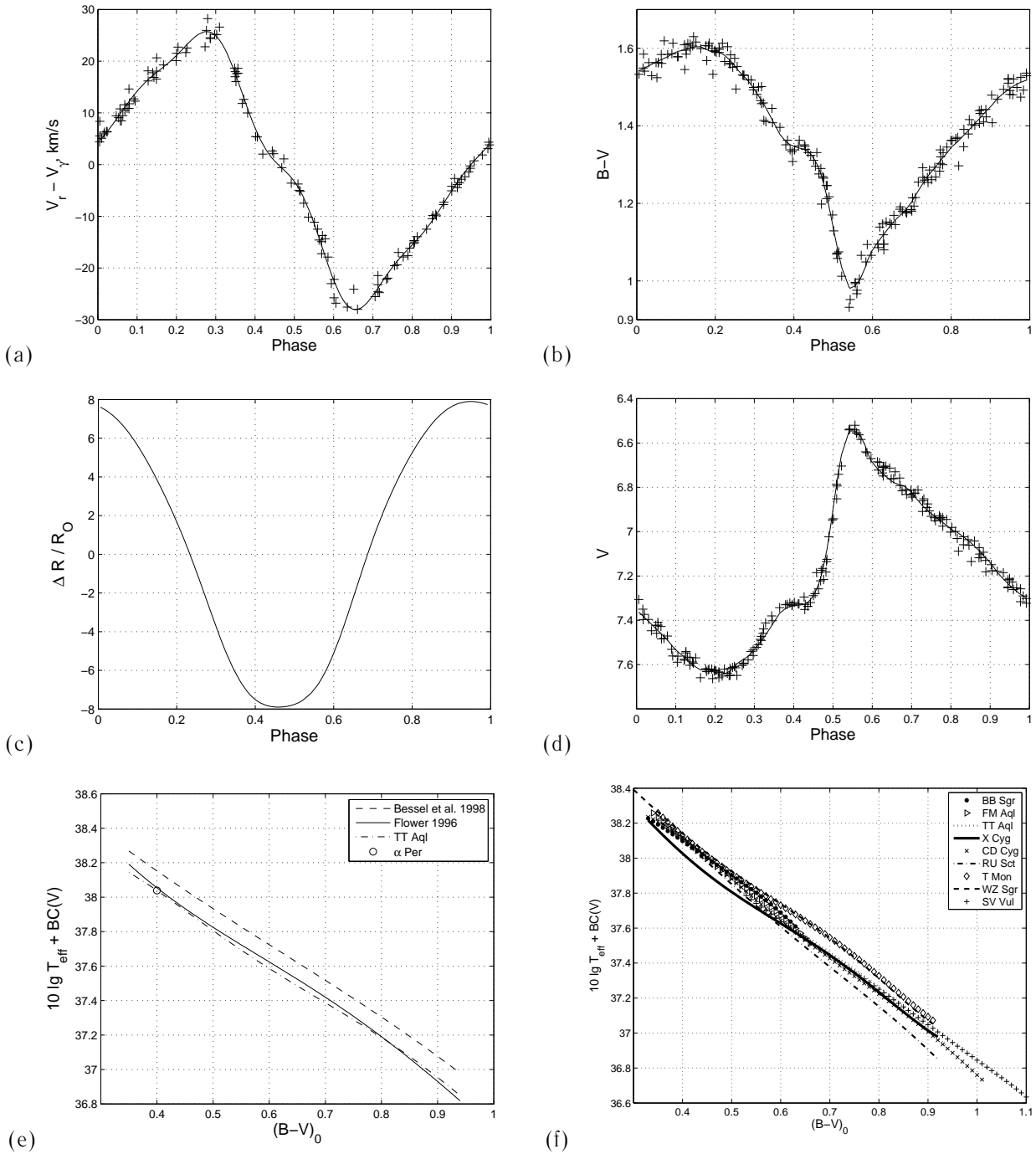


Рис. 2. (a): Наблюдаемая и сглаженная кривая изменения лучевой скорости цефеиды TT Aql. Стандартное отклонение $\sigma_{V_r} = 1.3 \text{ km/s}$. (b): Наблюдаемая и сглаженная кривая изменения показателя цвета $(B - V)$. (c): Изменение радиуса с пульсационной фазой. (d): Наблюдаемая и модельная кривая блеска в полосе V . (e): Вычисленная калибровочная функция ($F = 10 \times \log(T_{\text{eff}}) + BC(V)$) для TT Aql и калибровки [10] и [11]. Показано положение “стандарта” α Per, исправленное за различие металличностей. (f): Калибровочные функции ($F = 10 \times \log(T_{\text{eff}}) + BC(V)$), построенная по 9 цефеидам различных металличностей с большими амплитудами изменения цветов. Фазы вычислены с пульсационным периодом 13.755551 дня.

Таблица. Физические характеристики, расстояния и значения покраснения для цефеид в рассеянных скоплениях, выведенные с помощью новой версии метода ББВ. Для сравнения приведены избытки цвета скоплений, взятые из базы данных WEBDA (<http://www.univie.ac.at/webda/>); звездочкой отмечено значение E_{B-V} для GY Sge [29]. Расстояния рассчитаны в предположении $R_V = 3.3$

Цефеида	Скопление	Период (d)	Расстояние (пк)	E_{B-V}	E_{B-V} (WEBDA)	$\langle R \rangle / R_{\odot}$	M_V
SZ Tau	NGC 1647	3.149	796±90	0.40±0.02	0.370	57.0±7.0	-4.32±0.25
CF Cas	NGC 7790	4.875	3585±87	0.54±0.02	0.531	46.7±0.9	-3.41±0.05
U Sgr	IC 4725	6.745	613±25	0.50±0.03	0.475	54.2±1.8	-3.90±0.08
DL Cas	NGC 129	8.001	2067±58	0.47±0.05	0.548	69.3±1.6	-4.12±0.06
GY Sge	Anon OB	51.78	2136±163	1.44±0.05	1.29±0.06 (*)	208±11	-6.27±0.15

калибровкам [12, 13, 16]. Для TT Aql, $E_{B-V} \approx (0.65 \pm 0.03)^m$. Начальные эпохи отсчета фаз на Рис. 2 выбраны по соображениям наилучшей визуализации области максимума блеска. В некоторых случаях (большая амплитуда изменения цвета) “свободная” калибровка (10) позволила заметно улучшить согласие наблюдаемой и модельной кривой блеска цефеиды. На Рис. 2 f показаны примеры калибровок функции F для 9 цефеид разной металличности и ускорения силы тяжести $\log g$. Различие эффективных температур на интервале $T_{eff} \sim 6600 - 5100 K$ достигает 3–5%.

Применение нового варианта метода Бааде–Беккера–Весселинка к большой выборке цефеид Галактики с однородными фотометрическими и спектральными данными позволит вывести совершенно независимую шкалу избытков цвета и, как следствие, уточнить соотношения период–светимость, период–цвет, период–цвет–светимость и шкалу расстояний цефеид Галактики.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят М.В. Заболотских за помощь в подготовке данных, Л.Н. Бердникова, Ю.Н. Ефремова, М.Е. Сачкова, В.Е. Панчука и А.Б. Фокина за полезное обсуждение. В этой работе использована база данных по рассеянным скоплениям WEBDA, поддерживаемая Институтом астрономии Венского университета. Работа частично поддержана грантами РФФИ 08-02-00738, 07-02-00380, 06-02-16077.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W.L. Freedman, B.F. Madore, B. K. Gibson, et al., *Astrophys. J.* **553**, 47 (2001).
2. J. Binney and M. Merrifield, *Galactic astronomy*, Princeton, NJ : Princeton University Press (1998).
3. W. Baade, *AN* **228**, 359 (1926).
4. W. Becker, *ZA* **19**, 289 (1940).
5. A.J. Wesselink, *BAN* **10**, 91 (1946).
6. T.G. Barnes and D.S. Evans, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **174**, 489 (1976).
7. L.A. Balona, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **178**, 231 (1976).
8. М. Е. Сачков, А. С. Расторгуев, Н.Н. Самусь и Н.А. Горыня, *Письма в АЖ* **24**, 443 (1998).
9. М.Е. Сачков, *Письма в АЖ* **28**, 653 (2002).
10. Ph.J. Flower, *Astrophys. J.* **469**, 355 (1996).
11. M.S. Bessell, F. Castelli, and B. Plez, *Astronom. and Astrophys.* **333**, 231 (1998).
12. A. Alonso, S. Arribas, and C. Martinez-Roger, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **140**, 261 (1999).
13. M. Sekiguchi and M. Fukugita, *Astronom. J.* **120**, 1072 (2000).
14. I. Ramirez and J. Melendez, *Astrophys. J.* **626**, 465 (2005).
15. K. Biazzo, A. Frasca, S. Catalano, and E. Marilli, *AN* **328**, 938 (2007).
16. J.I. Gonzalez Hernandez and P. Bonifacio, *Astronom. and Astrophys.* **497**, 497 (2009).
17. L.N. Berdnikov, *Astrophysical applications of stellar pulsation*. Proceedings of IAU Colloquium 155 held in Cape Town, South Africa, 6-10 February 1995; Ed. by Stobie, R. S. and P.A. Whitelock, *Astronomical Society of the Pacific Conference Ser.* **83**, 349 (1995).
18. L.N. Berdnikov, *VizieR On-line Data Catalog: CDS II/285* (2008).
19. Н.А. Горыня, Т.Р. Ирсамбетова, А.С. Расторгуев и Н.Н. Самусь, *Письма в АЖ* **18**, 777 (1992).
20. Н.А. Горыня, Н.Н. Самусь, А.С. Расторгуев и М.Е. Сачков, *Письма в АЖ* **22**, 198 (1996).
21. Н.А. Горыня и др., *Письма в АЖ* **24**, 939 (1998).
22. N.A. Gorynya и др., *VizieR On-line Data Catalog: III/229* (2002).
23. А. А. Токовинин, *Астрон. ж.* **64**, 196 (1987).
24. C.D.F. Gray, *The Observation and Analysis of Stellar Photospheres*, Cambridge: Cambridge University Press (2005).
25. N. Nardetto et al., *Astronom. and Astrophys.* **428**, 131 (2004).

26. M. A. T. Groenewegen, *Astronom. and Astrophys.* **474**, 975 (2007).
 27. N. Nardetto, D. Mourard, Mathias, et al., *Astronom. and Astrophys.* **471**, 661 (2007).
 28. N. Nardetto et al., *Astronom. and Astrophys.* **502**, 951 (2009).
 29. D. Forbes, *Astronom. J.* **87**, 1022 (1982).
 30. A. S. Rastorguev, *Variable Stars, the Galactic halo and Galaxy Formation*, Proceedings of an international conference held in Zvenigorod, Russia, 12–16 October 2009; Ed. by Chr. Sterken, N. Samus, L. Szabados, Published by Sternberg Astronomical Institute of Moscow University, Russia, 225; arXiv:1001.1648.
 31. B.-C. Lee et al., *PASP* **118**, 636 (2006).

CLASSICAL CEPHEIDS: A NEW VERSION OF THE BAADE–BECKER–WESSELINK METHOD

A.S. Rastorguev, A.K. Dambis

We propose a new version of the Baade–Becker–Wesselink technique, which allows one to independently determine the color excess and the intrinsic color of a radially pulsating star, in addition to its radius, luminosity, and distance. The method is a generalization of the Balona approach. It also allows the function $F(CI_0) = BC(CI_0) + 10 \times \log(T_{eff}(CI_0))$ for the class of pulsating stars considered to be calibrated. The reddening estimates of several classical Cepheids with very accurate light and radial-velocity curves and with bona fide membership in open clusters (SZ Tau, CF Cas, U Sgr, DL Cas, GY Sge) agree well with the reddening estimates of the host open clusters. The new technique can also be applied to other pulsating variables, e.g. RR Lyrae.

Key words: *stars: variables: Cepheids*