

УДК 324.387

М. М. Закиров¹, М. У. Эшанкулова²

¹Кафедра астрономии Национальный Университет Узбекистана
Узбекистан, 700174, Ташкент, ВУЗ городок

²Астрономический институт АН РУз
Узбекистан, Ташкент, 700052, Астрономическая ул., 33
mamnun@1astrin.uzsci.net, zamamnun@mail.ru, manzura@astrin.uzsci.net

Тесные двойные системы в областях О, В-ассоциаций. IV. V698 Лебеда в направлении CYG OB3

Впервые проведены фотоэлектрические UBVR-наблюдения долгопериодической затменной переменной V698 Cyg на Майданакской обсерватории в Узбекистане. Всего было получено 654 измерения в полосе U, 650 — в B, 655 — в V и 646 — в R. Уточнена эфемерида главных минимумов: $MinI = HJD2434309.228(33) + 97.77451(47)^d \cdot E$. Все кривые блеска двойной были решены прямым методом Лаврова. Получены элементы фотометрической орбиты. Природа затменной системы не ясна. Мы оценили спектральные классы компонентов системы как A7II и KIII4. Звезда отнесена к очень далеким затменным системам в Галактике.

ТИСНІ ПОДВІЙНІ СИСТЕМИ В ОБЛАСТЯХ О, В-АСОЦІАЦІЙ. IV. V698 ЛЕБЕДЯ У НАПРЯМКУ CYG OB3, Закиров М. М., Ешанкулова М. У. — Вперше проведено фотоелектричні UBVR-спостереження довгоперіодичної затемнюваної змінної зірки V698 Cyg на Майданакській обсерваторії в Узбекистані. Всього було отримано 654 вимірів у смузі U, 650 — в B, 655 — в V та 646 — в R. Уточнено ефемериду головних мінімумів: $MinI = HJD2434309.228(33) + 97.77451(47)^d \cdot E$. Всі криві блиску подвійної зірки були розв'язані прямим методом Лаврова. Отримано елементи фотометричної орбіти. Природа затемнюваної системи не ясна. Ми оцінили спектральні класи компонентів системи як A7II і KIII4. Зірку віднесено до дуже далеких затемнюваних систем в Галактиці.

CLOSE BINARY SYSTEMS IN THE REGIONS OF OB-ASSOCIATIONS. IV. V698 CYGNI IN CYG OB3, by Zakirov M. M. and Eshankulova M. U. — The first UBVR photoelectric observations for the long-period eclipsing variable star V698 Cyg were carried out at the Maidanak Observatory in Uzbekistan. The total number of the measurements are 654 in U, 650 in B, 655 in V, and 646 in R. We derived a new ephemeris of the binary minima: $MinI = HJD2434309.228(33) + 97.77451(47)^d \cdot E$. All the light curves of the binary are solved by Lavrov's direct method and the orbit photometric

elements for the system are obtained. The nature of the binary is not clear. The binary's components are considered to be stars of the A7II and KIII4 spectral types. The binary is assigned to the farthest ones of our Galaxy.

ВВЕДЕНИЕ

Долгопериодическая затменная переменная V698 Cyg (328.1929 = OV24) была обнаружена Хоффмейстером [16]. Из-за большой амплитуды (1.9^m pg) звезда была заподозрена как мирида. Дальнейшие наблюдения позволили установить истинный тип тесной двойной системы (ТДС) и получить эфемериду минимумов (ОКПЗ):

$$\text{Min I} = \text{HJD}2434309.284 + 97.7732^d E.$$

Продолжительность главного минимума $DI = 0.048^p$ (4.7^d), и нет остановки блеска, т. е. $dI = 0.00^p$ [21, 22]. Вторичный минимум не был замечен. Спектр звезды определен неоднозначно. На спектрограмме с обратной дисперсией 25.0 мкм/мм звезда отнесена к типу В2 [7]. По спектрограмме с более высокой обратной дисперсией ($D = 4.6$ мкм/мм), полученной на 2.1-м телескопе Китт Пик, спектр переменной определен как А7IV (фаза 0.818^p) [15]. Звезда отнесена к очень удаленным затменным переменным [13]. Приближенные значения основных фотометрических элементов орбиты и абсолютных параметров ТДС приведены в работах [9, 14]. Звезда отнесена к физическим членам ОВ-ассоциации Cyg OB3 [4].

НАБЛЮДЕНИЯ

Фотоэлектрические наблюдения V698 Cyg в полосах *UBVR* системы Джонсона были проведены на 60- и 100-см телескопах Майданакской обсерватории в 1990—2002 гг. Наиболее плотный ряд наблюдений ТДС получен на 60-см телескопе в 2001—2002 гг. (54 %). Фотометрические величины опорных звезд были определены относительно стандартов в площадке Каптейна SA 115 [18]. Измерения площадки и опорных звезд выполнялись при близких воздушных массах для максимального уменьшения влияния атмосферного поглощения. При вычислениях фотометрических величин звезд использовались среднемесячные значения коэффициентов экстинкции на горе Майданак [2].

Измерения проводились дифференциальным методом, и разность воздушных масс переменной и звезды сравнения не превышали 0.02. Обработка всех фотометрических измерений звезд выполнена по авторским программам. При этом мы пользовались рекомендациями [10, 12]. Показатель цвета *V-R* стандартных звезд в SA 115 дан в системе Крона — Кузинса, который был редуцирован в показатель *V - R* системы Джонсона по формуле, приведенной в [18]. Результаты определения фотометрических величин опорных звезд даны в табл. 1. Переменная расположена в области Млечного Пути ($l = 72.42^\circ$, $b = +3.36^\circ$), где видимая плотность звезд фона велика. Ввиду того, что ТДС в минимуме довольно слабая для фотометрии

Таблица 1. Фотометрические величины опорных звезд

Опорная звезда	Номер GSC	V	U - V	B - V	V - R	Sp
Сравнения	02682-03408	10.312±0.010 ^m	0.258±0.008 ^m	0.313±0.004 ^m	0.304±0.003 ^m	A5
Контрольная	02682-01022	10.569±0.013 ^m	0.132±0.007 ^m	0.317±0.002 ^m	0.305±0.002 ^m	F0V

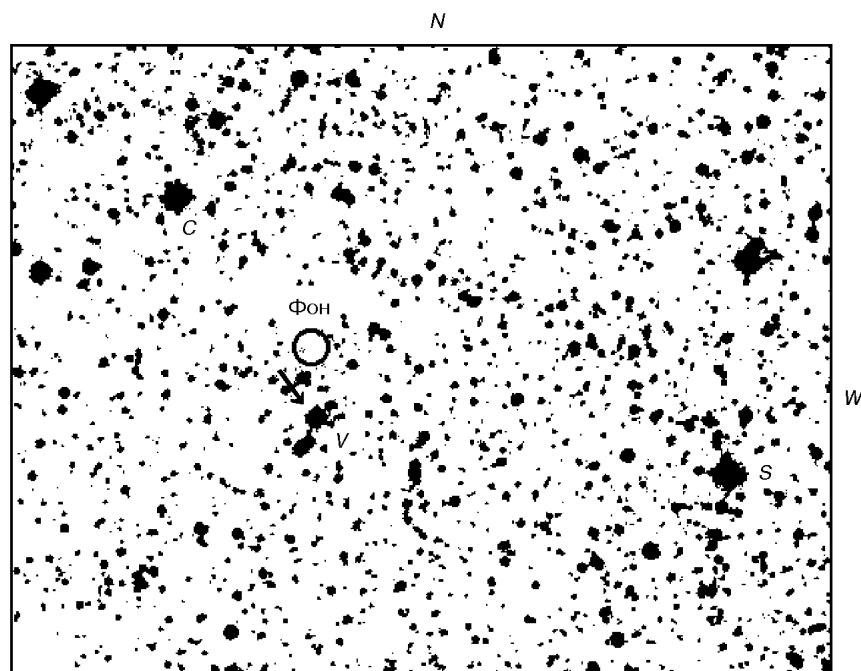


Рис. 1. Карта окрестностей V698 Cyg. Поле $7.5' \times 10'$ (V — переменная, S — звезда сравнения, C — контрольная звезда, Фон — место фона)

Таблица 2. Моменты главных минимумов V698 Cyg и значения O-C

Литературный источник	Наблюденные моменты минимумов HJD2400000+	E	O-C, сут
[20]	25411.503	-91	-0.244
[22]	32451.60	-19	0.09
	32745.04	-16	0.20
	33038.15	-13	-0.01
	33233.71	-11	0.00
[21]	33233.620	-11	0.088
[22]	33624.93	-7	0.12
[21]	33624.539	-7	-0.267
BBSAG	33625.00	-7	0.19
[22]	33722.50	-6	-0.08
	34016.00	-3	0.10
	34309.30	0	0.07
	34895.99	6	0.11
	35091.41	8	-0.01
	35482.62	12	0.10
	35775.91	15	0.06
[19]	36362.17	21	-0.32
BBSAG	44869.10	108	0.22
BBSAG	45064.50	110	0.08
BBSAG	45944.30	119	-0.10
Настоящая работа	48095.375	141	-0.059
	49170.878	152	-0.076
	50246.379	163	-0.095

с 60-см телескопом, на точность измерения потока излучения звезды может оказать заметное влияние флуктуация фона. Для ее уменьшения мы выбрали участок около переменной, достаточно свободный от слабых звезд, и каждый раз измеряли фон в этой точке (рис. 1).

ОРБИТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

С целью уточнения орбитального периода V698 Cyg мы собрали все опубликованные данные о моментах ослабления блеска ТДС, включая и наблюдения членов Швейцарского астрономического общества BBSAG. Обработка данных методом наименьших квадратов показала, что ряд индивидуальных определений минимумов в первоисточниках очень сильно отклоняются от средней эфемериды. Мы исключили все моменты минимумов из дальнейшего анализа, если их отклонения $O - C$ превышали 0.5 сут. Так, из 20 моментов [21] были отобраны лишь два. Из всех определений моментов минимумов в [21] использовано только одно. По-видимому, основная причина больших $O - C$ почти для половины наблюдаемого материала связана с тем, что авторы принимали ослабления блеска вблизи минимумов за моменты минимального блеска, которые заметно отличаются от истинных моментов из-за большого орбитального периода ТДС. В дальнейшем из анализа были исключены и те точки, которые давали

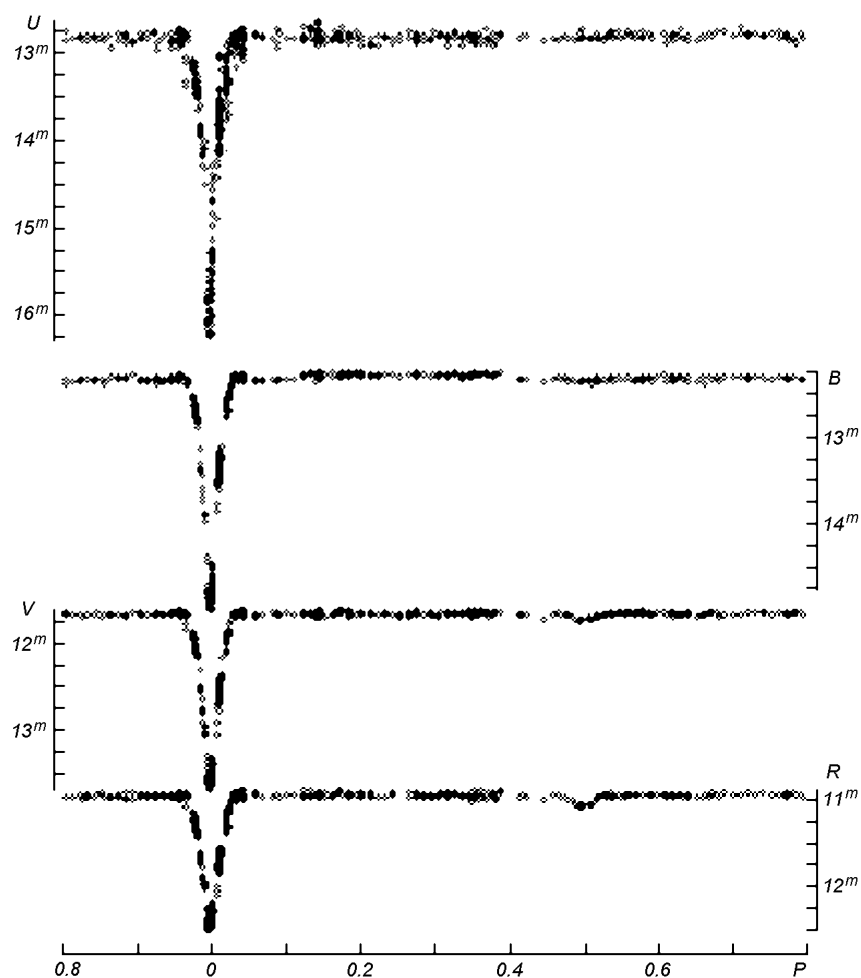


Рис. 2. Кривые блеска V698 Cyg

большие ошибки по сравнению с другими наблюдениями. В результате из 45 моментов ослабления блеска ТДС были оставлены 23 точки, включая три наши определения. На их основе получены следующие световые элементы главных минимумов V698 Cyg:

$$\text{Min I} = \text{HJD}2434309.228 (33) + 97.77451 (48)^d \cdot E.$$

Использованные моменты минимумов ТДС для уточнения ее эфемериды и их отклонения $O - C$ от полученной формулы помещены в табл. 2.

РЕШЕНИЯ КРИВЫХ БЛЕСКА

Новые многоцветные кривые блеска V698 Cyg показаны на рис. 2. Фазы были рассчитаны по нашей эфемериде. Графики изменения блеска ТДС типичны для EA-систем. Основные фотометрические узлы кривых блеска звезды приведены в табл. 3. Для сравнения в этой же таблице даны результаты наблюдений [19, 21]. Как видно, амплитуда главного минимума ТДС по нашим наблюдениям больше, чем по данным других исследований, и впервые выявлен вторичный минимум. Все фотоэлектрические кривые блеска V698 Cyg анализировались прямым методом Лаврова [5], основанным на ректифицированной модели Рессела — Меррилла. Коэффициенты потемнения к краю диска компонентов брались из таблицы [8], где они рассчитаны для различных моделей звездных фотосфер в полосах U , B , V и R . Ректификация внезатменных фаз кривых блеска ТДС показала слабый эффект отражения, который был учтен только при анализе кривой U -блеска. Результаты решения кривых блеска ТДС даны в табл. 4, где геометрические параметры усреднены. В системе происходит частное затмение, и в главном минимуме наблюдается прохождение большего по размерам, но значительно более слабого по блеску L_c компонента по диску малой и яркой (L_h) звезды (гипотеза $B \rightarrow M$). Из-за очень слабого блеска холодного компонента в фильтре U анализ этой кривой блеска проводился при фиксированном значении $L_c = 0.001(L_h + L_c)$. В последней графе указаны средние уклонения нормальных точек от теоретических кривых блеска. Сравнение наблюдаемых точек с теоретической кривой V -блеска в главном

Таблица 3. Фотометрические характеристики кривых блеска V698 Cyg

Фаза	V	U — B	B — V	V — R	[19]	[22]
Max	11.65 ^m	0.49 ^m	0.66 ^m	0.69 ^m	12.04 ^m vis	12.22 ^m pg
Min I	13.66	0.77:	1.29	1.20	12.72	14.15
Min II	11.72	0.44	0.66	0.66	—	—

Таблица 4. Элементы фотометрической орбиты V698 Cyg

Полоса	r_c	r_h	x_c	x_h	i	$L_c/(L_c + L_h)$	ε
U	0.120:	0.101:	1.25	0.75	87.5:°	0.001 (принято)	0.016 ^m
B	0.119	0.105	1.10	0.75	88.0	0.046±0.037	0.043
V	0.120	0.098	0.90	0.60	87.3	0.104±0.024	0.021
R	0.121	0.100	0.75	0.50	87.1	0.168±0.031	0.030
$\langle BVR \rangle$	0.120±0.001	0.101±0.002			87.5±0.3		
[9]	0.122	0.040			≈90.0	0.04	
[14]	0.109	0.091				0.11	

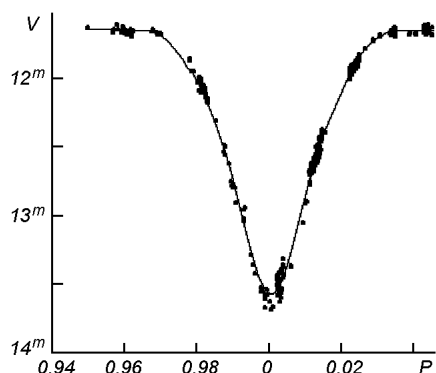


Рис. 3. Сравнение наблюдений в главном минимуме с теоретической кривой блеска

минимуме показано на рис. 3. При построении теоретической кривой блеска использованы средние геометрические элементы фотометрической орбиты. Для сравнения полученных данных в таблице также приведены сведения из каталогов [9, 14]. Как видно, значения элементов близки друг к другу, за исключением радиуса горячей звезды.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При отсутствии спектроскопических элементов ТДС приходится прибегать к косвенным методам оценки абсолютных параметров компонентов. В большинстве случаев используются кривые блеска затменных систем без их решения и зависимости между фундаментальными характеристиками звезд, включая статистические и приближенные методы. Так, каталог [14] содержит приближенные абсолютные элементы 1048 затменных систем, а в каталоге [9] приведены данные компонентов 3803 двойных звезд. В этих каталогах данные о V698 Cyg отличаются друг от друга. Особенно различаются оценки радиуса горячей и массы холодного компонентов (почти в два раза), несмотря на то, что принимался один и тот же спектр горячей звезды системы.

Оценку абсолютных характеристик компонентов V698 Cyg проведем по схеме [3], которую мы применяем при отсутствии спектроскопических данных ТДС. В дальнейшем в качестве основного надежного параметра используем спектр ТДС A7IV, который несомненно относится к более горячему компоненту системы. Напомним, что спектр звезды был получен при фазе 0.818^p . Полагаем, что этот компонент имеет стандартные характеристики звезды данного класса светимости и температуры [11]. Чтобы получить оценку параметров холодного компонента, мы используем отношение радиусов звезд (табл. 4), разность звездных величин компонентов (табл. 5) и третий закон Кеплера (оценка массы). В результате мы получим абсолютный радиус компонента, его светимость, температуру и массу звезды. Контролем надежности нашей оценки является соответствие каждого параметра компонента одной и той же звезде. Другими словами, эти

Таблица 5. Фотометрические величины компонентов V698 Cyg

Компонент	V	U - B	B - V	V - R
Горячий	11.78 ± 0.03^m	0.44 ± 0.06^m	0.58 ± 0.06^m	0.62 ± 0.06^m
Холодный	14.08 ± 0.25^m	—	1.66 ± 0.79^m	1.21 ± 0.32^m

величины должны «сходиться» к одному и тому же спектральному классу и светимости.

Если абсолютный радиус орбиты неизвестен, то его можно найти из простого соотношения

$$A = R/r,$$

где R и r — абсолютный и относительный радиусы компонента. Абсолютный радиус звезды принимаем соответствующим ее спектру, а значение r оценивается по кривой блеска, или его точное значение определяется из решения кривой блеска. В нашем случае из-за малого радиуса горячей звезды (спектр A7IV) радиус орбиты оказался крайне малым. Согласно третьему закону Кеплера сумма масс компонентов получается неправдоподобно малой ($M_h + M_c < 0.02M_m$). Большой период орбитального вращения компонентов вокруг общего центра масс требует и значительно большего размера самой орбиты. Ошибочное определение орбитального периода ТДС исключается, так как уверенно наблюдается вторичный минимум в V -, R -полосах, и хорошо прописаны внезатменные фазы кривых блеска (рис. 2). Вторичный минимум ТДС находится на фазе 0.5^p , что указывает на круговую орбиту. Рецензент отметил, что при таких больших периодах орбита может быть эллиптической и предложил исключить возможный более короткий период, чем данный в ОКПЗ. Поиск другого периода проводился по программе STRING пакета программ STARLINK (www.starlink.ac.uk), однако был получен отрицательный результат. Причинами неудачной оценки абсолютных параметров компонентов могут быть заниженное значение абсолютного радиуса, а следовательно, неправильное определение спектра системы или завышенное значение фотометрического радиуса горячего компонента. Последний параметр уверенно определяется из решения кривых блеска в трех цветах (табл. 4). В таком случае нам следует подвергнуть сомнению значение абсолютного радиуса горячего компонента, т. е. спектр звезды A7IV, так как горячая звезда системы доминирует в наблюдаемом спектральном диапазоне. Интересно, что в работе [14] принята почти вдвое меньшая температура горячего компонента V698 Cyg, чем табличное значение для спектра B2 [11]. В работе [9] эта трудность обойдена, так как получена вдвое меньшая оценка относительного радиуса горячего компонента, чем оценка [14] и наша. Оценим спектр горячего компонента на двуцветных диаграммах $(U - B) - (B - V)$ и $(U - B) - (V - R)$. Фотометрические величины каждого компонента ТДС (табл. 5) легко вычислить из данных табл. 3 и 4. Ввиду того, что решение кривой U -блеска звезды производился при фиксированном значении блеска компонентов, показатель цвета $U - B$ слабой звезды получился очень неуверенным. Горячий компонент на двуцветных диаграммах $(U - B) - (B - V)$ и $(U - B) - (V - R)$ по линии нормального покраснения пересекает стандартные кривые в двух точках (A0 и A7). Мы оставили оценку спектра A7, который получен из спектрального наблюдения ТДС [15]. В таком случае избыток цвета равен $E_{B-V} = 0.38^m$, и при нормальном законе межзвездного поглощения получаем $A_V = 1.25^m$. Эта величина поглощения характерна для звезд в ОБ-ассоциации Cyg OB3 [17]. Итак, по цветовым показателям горячий компонент показывает признаки звезды A7. Если придерживаться этого спектрального класса звезды, то для оценки правдоподобных значений масс необходимо отнести горячий компонент к сверхгигантам A7II (табл. 6). Тогда, принимая абсолютную величину этой звезды равной ее стандартному значению ($M_V = -2.8^m$ [11]), получаем модуль расстояния ТДС $m - M = 13.3^m$. Полученное расстояние намного превышает удаленность всех ОБ-ассоциаций в Лебеде [1, 6]. Мы подтверждаем, что V698 Cyg относится к очень удаленным ТДС в Галактике [13]. Заметим,

Таблица 6. Ожидаемые абсолютные характеристики V698 Cyg

Источник	M/M_{\odot}	R/R_{\odot}	M_{bol}	T, K	Sp
Горячий компонент					
Настоящая работа	5.4	16.2	-3.01	7900	A7II
[14]	9.14	19.79	-5.00	12190	B2+
[9]	9.2	8.0	-5.85	—	B2
Холодный компонент					
Настоящая работа	1.6	20.6	-0.99	4400	K4III
[14]	5.33	23.76	-2.70	6560	—
[9]	2.75	25	-1.65	—	G7IV

что при такой удаленности звезды поглощение оказалось небольшим. Трудно предположить, что за ассоциацией нет поглощающей материи. Можно было сомневаться в классификации спектра ТДС, если бы наблюдения не были получены с высокой дисперсией [15]. Возможно, распределение энергии в спектре главной звезды имеют особенности. В качестве гипотезы можно высказать, что горячий компонент окружен дисковой оболочкой, и при решении кривых блеска ТДС мы находим относительный размер звезды с оболочкой, а не радиус самой звезды. Возможно, тогда удастся избежать проблемы завышенного фотометрического радиуса горячего компонента. Но для этого нужно показать, что второй компонент заполняет свою полость Роша и «питает» дисковую оболочку. Однако из-за очень большого радиуса орбиты у нас нет оснований для такого утверждения. (Из данных табл. 4 и 6 следует, что горячий компонент заполняет свою критическую полость только на 20 %, а холодный — на 44 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получены многоцветные фотоэлектрические наблюдения долгопериодической затменной системы V698 Cyg. Обнаружен вторичный, очень мелкий минимум только в полосах *V* и *R*. Уточнена эфемерида минимумов. Все кривые блеска ТДС решены прямым методом Лаврова [5] и получены надежные элементы фотометрических орбит. Попытка оценки значений абсолютных характеристик компонентов потерпела неудачу. Полученный относительный радиус горячего компонента оказался очень большим, и это приводит к крайне малым размерам орбиты ТДС. Как следствие, вычисленная согласно третьему закону Кеплера сумма масс компонентов оказалась неправдоподобно малой.

В предположении, что яркий компонент системы является сверхгигантом, получена оценка расстояния до ТДС. Оказалось, что система относится к очень далеким затменным системам в Галактике.

Дальнейшее исследование данной ТДС мы видим в получении спектроскопических элементов и определения истинных абсолютных параметров системы.

Авторы благодарны рецензенту за очень внимательное и доброжелательное отношение к нашей работе, а также ряд ценных замечаний и советов. Данная работа выполнена при финансовой поддержке Центра науки и технологиям Республики Узбекистан (грант Ф.2.1.76). Авторы пользовались банком SIMBAD Центра астрономических данных в Страсбурге (Франция) и программой STRING пакета программ STARLINK.

1. *Гарибджанян А. Т., Гаспарян К. Г., Оганесян Р. Х.* Распределение ОБ-звезд и поглощающее вещество в области вокруг звезды Р Суг // *Астрофизика*.—1984.—20, вып.2.—С. 245—261.
2. *Железнякова А. И.* Результаты исследования прозрачности и влагосодержания атмосферы на астропункте Майданак // *Астроклимат и эффективность телескопов*. — Л.: Наука, 1984.—С. 55—59.
3. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в областях звездообразования. FF Ori, FH Ori, FK Ori и FR Ori в ассоциации Ori I // *Письма в Астрон. журн.*—1996.—22, № 9.—С. 664—695.
4. *Закиров М. М., Эшанкулова М. У.* Тесные двойные системы в области ОБ-ассоциаций. I. Предварительное исследование // *Кинематика и физика небес. тел.*—2004.—20, № 4.—С. 313—327.
5. *Лавров М. И.* Комплекс программы на языке БЕЙСИК для анализа кривых блеска затменных двойных систем // *Тр. Казан. город. астрон. обсерватории*.—1993.—№ 53.—С. 34—47.
6. *Мельник А. М., Ефремов Ю. Н.* Новый список ОБ-ассоциаций Галактики // *Письма в Астрон. журн.*—1995.—21, № 1.—С. 13—30.
7. *Нумерова А. В.* Каталог спектров, фотографических звездных величин и показателей цвета 5000 звезд в созвездии Лебеда на площадке $6^{\circ} \times 6^{\circ}$ с центром $20^{\text{h}}05^{\text{m}} +36^{\circ}$ // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории*.—1958.—19.—С. 230—340.
8. *Рубашевский А. М.* Законы потемнения к краю в фотометрических системах *UBVR* и *uvby* // *Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории*.—1985.—№ 58.—С. 389—408.
9. *Свечников М. А., Кузнецова Э. Ф.* Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд. — Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1990.—Т. 1.—224 с.
10. *Страйжис В.* Многоцветная фотометрия звезд. — Вильнюс: Мокслас, 1976.—312 с.
11. *Страйжис В.* Звезды с дефицитом металлов. — Вильнюс: Мокслас, 1982.—312 с.
12. *Харди Х.* Редукция фотоэлектрических наблюдений // *Методы астрономии* / Под ред. В. А. Хилтнера. — М.: Мир, 1965.—С. 157—183.
13. *Banaszkowski M., Dworak T. Z.* The farthest known eclipsing binaries in Our Galaxy // *Inform. Bull. Var. Stars*.—1988.—N 3273.—2 p.
14. *Braniewicz H. K., Dworak T. Z.* A catalogue of parameters for eclipsing binaries // *Acta Astron.*—1980.—30, N 4.— P. 501—524.
15. *Halbedel E. M.* Spectral type of eclipsing binaries // *Inform. Bull. Var. Stars*.—1984.—N 2549.—2 p.
16. *Hoffmeister C.* 354 neue Veränderliche // *Astron. Nachr.*—1929.—236.—P. 233—244.
17. *Humphreys R. M.* Studies of luminous stars in nearby galaxies. I. Supergiants and O stars in the Milky Way // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1978.—38, N 4.—P. 309—350.
18. *Landolt A. U.* UBVR photometric standard stars around the celestial equator // *Astron. J.*—1983.—88, N 3.—P. 439—460.
19. *Szafraniec R.* The light-curves of 10 eclipsing variables // *Acta astron.*—1970.—20, N 1.—P. 25—46.
20. *van Schewick H.* Feld γ Cygni // *Klein. Veröff. Univ. Berlin—Babelsberg*.—1941.—24.—P. 86—99.
21. *Whitney B. S.* Variable stars. A small nebulae // *Astron. J.*—1952.—56, N 7.—P. 206—208.
22. *Whitney B. S.* Minima and periods of eclipsing stars // *Astron. J.*—1957.—62, N 10.—P. 371—376.

Поступила в редакцию 09.12.04