

УДК 324.387

М. М. Закиров¹, М. У. Эшанкулова²

¹Национальный университет Узбекистана

700174, Узбекистан, Ташкент, ВУЗ-городок

²Астрономический институт АН Республики Узбекистан

7000052, Узбекистан, Ташкент, ул. Астрономическая 33

Тесные двойные системы в областях ОБ-ассоциаций. II. АТ Лисички в Vul OB1 и EV Лисички в Vul OB4

Впервые выполнены фотоэлектрические UBV R-наблюдения затменных переменных звезд ранних спектральных классов AT Vul и EV Vul, расположенных в областях ОБ-ассоциаций Vul OB1 и Vul OB4 соответственно. Уточнены эфемериды минимумов: $Min I = HJD 2429906.9276(24) + 3.9803541E + (5.75 \pm 0.53) \cdot 10^{-9}E^2$ для AT Vul и $Min I = HJD2442731.1301(42) + 2.8220971E + 0.029(9)\sin(0.490 + 0.0407E)$ для EV Vul. Период обращения третьего тела в EV Vul оценен в 436 ± 1 сут. Все кривые блеска двойных систем решены прямым методом Лаврова и получены элементы фотометрических орбит двойных звезд. Орбита AT Vul имеет небольшой эксцентриситет (0.02). Получены ожидаемые физические характеристики компонентов AT Vul: $M_h = 16.0M_\odot$, $M_c = 8.1M_\odot$, $R_h = 5.1R_\odot$, $R_c = 10.0R_\odot$, $M_{h,bol} = -5.9^m$, $M_{c,bol} = -5.0^m$. Нам не удалось найти физические параметры EV Vul. Возможно, что один или оба компонента двойной звезды окружены мощными пылевыми дисками. Звезда AT Vul отнесена к ОБ-ассоциации Vul OB1 и EV Vul является членом Vul OB4.

ТИСНІ ПОДВІЙНІ СИСТЕМИ В ОБЛАСТЯХ ОБ-АСОЦІАЦІЙ. II. АТ ЛИСИЧКИ В VUL OB1 ТА EV ЛИСИЧКИ В VUL OB4, Закиров М. М., Ешанкулова М. У. — Вперше виконано фотоелектричні UBV R-спостереження затемнювано-змінних зірок ранніх спектральних класів AT Vul та EV Vul, розташованих в областях ОБ-асоціації Vul OB1 і Vul OB4 відповідно. Уточнено ефемериди мінімумів: $Min I = HJD 2429906.9276(24) + 3.9803541E + (5.75 \pm 0.53) \cdot 10^{-9}E^2$ для AT Vul і $Min I = HJD2442731.1301(42) + 2.8220971E + 0.029(9)\sin(0.490 + 0.0407E)$ для EV Vul. Період обертання третього тіла в EV Vul оцінено в 436 ± 1 діб. Всі криві блиску подвійних систем вирішено прямим методом Лаврова і отримано елементи фотометричних орбіт подвійних зірок. Орбіта AT Vul має невеликий эксцентриситет (0.02). Отримано очікувані фізичні характеристики компонентів AT Vul: $M_h = 16.0M_\odot$, $M_c = 8.1M_\odot$, $R_h = 5.1R_\odot$, $R_c = 10.0R_\odot$, $M_{h,bol} = -5.9^m$, $M_{c,bol} = -5.0^m$. Нам не вдалося

знайти фізичні параметри *EV Vul*. Можливо, що один чи обидва компоненти подвійної зірки оточені потужними пиловими дисками. Зірку *AT Vul* віднесено до ОБ-асоціації *Vul OB1*, а *EV Vul* є членом *Vul OB4*.

CLOSE BINARY SYSTEMS IN REGIONS OF OB-ASSOCIATIONS. II. AT VULPECULAE IN VUL OB1 AND EV VULPECULAE IN VUL OB4, by Zakirov M. M., Eshankulova M. U. — The first UBVR photoelectric observations of the eclipsing variable stars AT Vul and EV Vul were carried out at the Maidanak Observatory (Uzbekistan) in 1990—2001. We improved the ephemerides of the binaries: $\text{Min } I = \text{HJD } 2429906.9276(24) + 3.9803541E + (5.75 \pm 0.53) \cdot 10^{-9}E^2$ for AT Vul and $\text{Min } I = \text{HJD}2442731.1301(42) + 2.8220971E + 0.029(9)\sin(0.490 + 0.0407E)$ for EV Vul. The orbital period for the third body in EV Vul is 436 ± 1^d . All light curves of two binaries were solved by Lavrov's direct method and the orbit photometric elements for the systems were derived. The orbit of AT Vul has a small eccentricity (0.02). The expected absolute basic parameters for the components of AT Vul were estimated: $M_h = 16.0M_\odot$, $M_c = 8.1M_\odot$, $R_h = 5.1R_\odot$, $R_c = 10.0R_\odot$, $M_{h,\text{bol}} = -5.9^m$, $M_{c,\text{bol}} = -5.0^m$. We failed to find the absolute physical data for EV Vul. It is possible that one or both components of EV Vul have thick dust discs. The star AT Vul belongs to the OB-association Vul OB1 and the star EV Vul is a member of Vul OB4.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является продолжением серии статей, посвященной фотометрическому исследованию известных затменных переменных звезд, которые проектируются на области звездообразования [8—15]. Нами проводились многоцветные фотоэлектрические наблюдения избранных затменных систем в ассоциациях Ориона (7 звезд), Лебеда (4 звезды), и по одной звезде в Возничем и Единороге. Из 13 исследованных тесных двойных систем (ТДС) 11 отнесены к вероятным членам областей звездообразования (ОЗ). Программа исследования ТДС в ОЗ изложена в работах [9, 17]. Настоящая работа посвящена многоцветному фотоэлектрическому исследованию двух ТДС в области ОБ-ассоциации *Vul OB1* и *Vul OB4*.

ОБ-ассоциация *Vul OB1* была впервые выделена в работе [52], а *Vul OB4* — в работе [60]. Количество физических членов ОБ-ассоциаций, их размеры и расстояния неоднократно уточнялись [2, 5, 39, 62]. Обе ассоциации расположены на небе близко друг к другу. Если реальность ОБ-ассоциации *Vul OB1* не вызывает сомнения, то существование *Vul OB4* не является очевидным [62], так как она содержит всего три звезды [5]. Подробный обзор областей обеих ОБ-ассоциаций дан в работах [1, 62, 63]. Так, два молодые рассеянные звездные скопления NGC 6823 и NGC 6830 являются членами ассоциации *Vul OB1*. Кроме того, ярчайшие звезды NGC 6823 освещают диффузную туманность NGC 6820, которая является радиоисточником [62]. Небольшое молекулярное облако с размерами около 0.3 пк находится в ассоциации *Vul OB1* [36]. В области ОБ-ассоциаций изучено распределение атомарного водорода вокруг четырех зон H II — S86, S87, S88 и S89 [34]. Недавно в области ОБ-ассоциаций обнаружено новое рассеянное звездное скопление [28]. В области ассоциаций наблюдается ряд молодых звезд, находящийся на ранних стадиях эволюции [53, 54]. В направлении на область ОБ-ассоциаций видны две мало исследованные довольно яркие затменные переменные звезды *AT Vul* и *EV Vul* ранних спектральных классов. В настоящей работе приводятся результаты фотоэлектрических *UBVR*-наблюдений и определения характеристик этих ТДС.

Таблица 1. Спектральная классификация AT Vul и EV Vul

Звезда	Источник	Спектр
AT Vul	[31]	G0
	[3]	B5
	ОКПЗ	B3
	SIMBAD	A0
EV Vul	[41]	B1V:
	[51]	F8
	[3]	B2III
	ОКПЗ	B1V:
	SIMBAD	B1V

Затменные переменные AT Vul (=BD +23°3826 = HD 345185 = 311.1930 = GSC 02140-00759) и EV Vul (= BD +23°3809 = 358.1943 = S3683 = GSC 02140-01051) были открыты Хофмейстером [42, 43]. Обе звезды были отнесены к алголям. Первая кривая блеска AT Vul была построена в работе [50], где по 136 визуальным наблюдениям найдены семь минимумов и определены световые элементы. Продолжительность затмения в главном и вторичном минимумах отличалась на 0.20^p , что указывала на эллиптическую орбиту ТДС. Эта кривая блеска была решена методом Рессела, и получены элементы фотометрической орбиты (ЭФО) [61]. В главном минимуме затмевается малый по размерам, но более горячий компонент, и происходит полное затмение ($\alpha_0 = 1.0$). В дальнейшем переменная наблюдалась в основном фотографически [6, 25, 26, 30, 50, 58]. Есть несколько фотоэлектрических измерений блеска ТДС в четырехцветной среднеполосной системе Стремгрена [40] и в *UBV*-системе Джонсона [48]. В работе [65] минимумы двойной звезды описаны эфемеридой, содержащей квадратичный и кубический члены. Точное положение, собственное движение и спектральный тип AT Vul дан в каталоге HDEC [59]. На необходимость фотоэлектрических наблюдений AT Vul указано в работе [45]. Как было отмечено выше, звезда имеет ранний спектральный класс, однако литературные данные весьма противоречивы (табл. 1).

Первые систематические наблюдения EV Vul (226 фотографических оценок) не позволили найти эфемериду минимумов, и звезда была отнесена к быстрым неправильным переменным с малой амплитудой изменения блеска [6]. Позже была подтверждена затменная природа звезды и определены ее световые элементы [24]. Более подробные исследования EV Vul позволили по 12 минимумам уточнить период переменной и пределы изменения блеска [57, 58]. Анализ периода ТДС на интервале времени более 40 лет показал, что период подвержен изменениям [26]. Сводка определений спектра EV Vul дана в табл. 1. Как видно, классификация спектра звезды в работе [41] приведена и в ОКПЗ. Единственные два фотоэлектрические *UBV*-измерения EV Vul получены там же (две точки); модуль расстояния до переменной составил $m - M = 10.5^m$.

Обе переменные AT Vul и EV Vul ассоциируются с ИК-источниками [32, 37]. EV Vul лучше отождествляется с ИК-источником IRAS 19495+2345 и по распределению энергии в спектра в далекой ИК-области предполагается, что звезда окружена пылевой оболочкой [37]. Приближенные значения ЭФО и абсолютные характеристики обеих ТДС даны в каталогах [21, 29].

В табл. 2 приведены основные данные о AT Vul и EV Vul, содержащиеся в ОКПЗ. Здесь D — продолжительность затмения в главном минимуме, а d — продолжительность фазы полного затмения.

Таблица 2. Основные сведения о AT Vul и EV Vul

ТДС	JDH2400000+	P, сут	Тип	Max	MinI	MinII	D/d	Sp
AT Vul	29906.980	3.98039	EA	9.08 ^m	10.0 ^m	9.3 ^m	0.13 ^p /0.02 ^p	B3
EV Vul	42731.135	2.82200	EB	11.50	12.20	11.9		B1V

НАБЛЮДЕНИЯ

Фотоэлектрические UBVR-наблюдения AT Vul и EV Vul были выполнены на 1-м и 60-см телескопах Майданакской обсерватории [57, 58] в 1990—2001 гг. с перерывом в 1993—1997 гг. Основной материал был получен в последние четыре года (84 %). Наблюдения проводились дифференциальным способом путем привязки к звездам сравнения в непосредственной окрестности переменных звезд, постоянство блеска которых проверялось по контрольным звездам. Звездные величины и показатели цвета звезд сравнения и контрольных звезд определены относительно многоцветных фотоэлектрических стандартов в площадках Каптейна SA 113 и SA 114 [49], расположенных вдоль экватора. Измерения опорных и стандартных звезд выполнялась при близких воздушных массах; при редукциях использовались среднемесячные значения коэффициентов экстинкции на горе Майданак [7]. Измерения звезд редуцированы в стандартную систему Джонсона по методу [23] с учетом рекомендаций [22]. Полученные фотометрические значения опорных звезд и ошибки их определения даны в табл. 3.

В табл. 4 даны количество измерений ТДС в каждом фильтре и средняя квадратичная ошибка одного определения блеска ТДС в максимуме.

Средние фотометрические характеристики основных фаз кривых блеска приведены в табл. 5. В работе [48] получены три измерения блеска AT Vul

Таблица 3. Фотометрические величины опорных звезд

Звезда	V	U-B	B-V	V-R	Sp
Сравнения	8.915 ± 0.011	0.462 ± 0.024	0.900 ± 0.014	0.551 ± 0.006	B91b
Контрольная	8.436 ± 0.004	1.048 ± 0.006	1.124 ± 0.002	0.850 ± 0.003	K2

Таблица 4. Сводка наблюдений и средние квадратичные ошибки одного определения блеска AT Vul и EV Vul

Звезда	N _U	N _B	N _V	N _R	σ _V	σ _{U-B}	σ _{B-V}	σ _{V-R}
AT Vul	362	361	366	354	0.012	0.008	0.006	0.005
EV Vul	510	528	526	530	0.014	0.033	0.019	0.012

Таблица 5. Фотометрические характеристики кривых блеска AT Vul и EV Vul

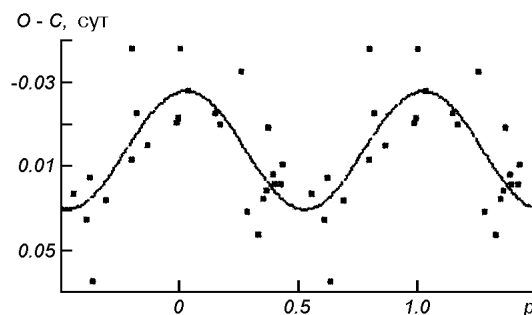
Звезда	Фаза	V	U-B	B-V	V-R
AT Vul	Max	9.10 ^m	-0.39 ^m	0.48 ^m	0.45 ^m
	Min I	9.80	-0.22	0.49	0.48
	Min II	9.36	-0.45	0.44	0.47
EV Vul	Max	10.49	-0.20	0.92	0.78
	Min I	11.42	-0.07	0.90	0.77
	Min II	10.91	-0.22	0.92	0.75

в максимуме блеска, их средние значения составили: $V = 9.096^m$, $U - B = -0.382^m$ и $B - V = 0.460^m$. Эти значения блеска ТДС близки к нашим данным (см. табл. 4). Несколько хуже согласуются наши измерения блеска EV Vul с данными [41], так как кривая блеска ТДС относится к типу EB, а в работе [41] не указана фаза кривой блеска.

ОРБИТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Анализ кривых блеска обеих ТДС, построенных по найденным выше эфемеридам (см. табл. 1), показывает смещения главных минимумов от нулевой фазы. Причем кривая блеска EV Vul, полученная в 1990—1992 гг., смещена по фазе относительно наших наблюдений последних лет. Мы собрали все известные моменты минимумов ТДС, включая собственные определения, и провели новые уточнения эфемерид методом наименьших квадратов. В анализ включены наблюдения членов Швейцарского астрономического общества, которые публикуются в бюллетене *Bedeckungsveränderlichen Beobachter der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft (BBSAG)*. Наименьшее значение суммы квадратов отклонения $O - C$ дали световые элементы с квадратичным членом для AT Vul, и с синусоидальным — для EV Vul. Период обращения EV Vul вокруг центра масс тройной системы составляет 436 ± 1 сут. Период был найден по программе CHISQ пакета матобеспечения STARLINK, основанной на χ^2 -методе и описывающей гармонические изменения величин (<http://www.starlink.ac.uk>). Улучшенные эфемериды ТДС даны в табл. 6. В круглых скобках даны средние квадратичные ошибки, выраженные в последних знаках самих значений. В эфемериде EV Vul начальная фаза и угловая скорость смещения минимумов выражена в радианах. На рис. 1 показана световая кривая, построенная с полученным нами периодом гармонического смещения. Заметный разброс точек на световой кривой, скорее всего связан с точностью определения моментов минимумов, чем с реальными отклонениями. Сама форма кривой блеска (тип EB) ТДС затрудняет точную фиксацию момента наибольшего ослабления блеска. Отклонения наблюдаемых моментов минимумов от вычисленных по новым эфемеридам приведены в табл. 6.

Рис. 1. Световая кривая EV Vul



Все кривые блеска обеих ТДС были решены прямым машинным методом М. И. Лаврова [18], основанным на ректифицируемой модели Рассела — Меррилла. Коэффициенты потемнения к краю дисков брались из таблицы [20], где они рассчитаны для различных моделей звездных фотосфер в международной фотометрической системе Джонсона. Наблюдаемые ТДС имеют свои особенности, поэтому обсуждение по каждой переменной проведем отдельно.

Таблица 6. Сводка минимумов AT Vul и EV Vul

Литературный источник	Моменты минимумов	E	O-C, сут
AT Vul: $\text{MinI} = \text{HJD } 2429906.9276(24) + 3.9803541(26)E + (5.75 \pm 0.53) \cdot 10^{-9}E^2$			
[64]	25057.514	-1218.5	(0.639)
	25399.822	-1132.5	(0.638)
	25431.667	-1124.5	(0.640)
	25650.594	-1069.5	(0.648)
	25654.557	-1068.5	(0.632)
	26020.782	-976.5	(0.665)
	26410.844	-878.5	(0.653)
[50]	26559.438	-841	0.016
[46]	26559.45±0.05	-841	0.00
[50]	26929.635	-748	-0.009
	26945.546	-744	0.001
[46]	26957.485±0.015	-741	0.003
[50]	26973.403	-737	0.007
	26993.329	-732	-0.017
	27001.298	-730	-0.026
	27017.215	-726	-0.021
BBSAG	28366.517	-387	0.014
	28374.498	-385	-0.006
	28390.402	-381	0.012
	28398.358	-379	0.016
	28422.247	-373	0.009
	28446.137	-367	0.001
[6]	34778.93	1224	-0.04
	34989.89	1277	-0.04
BBSAG	35057.514	1294	0.000
	35399.822	1380	0.006
	35431.667	1388	0.003
	35650.594	1443	-0.003
	35654.557	1444	0.014
	36020.782	1536	-0.017
	36410.844	1634	-0.002
	37521.369	1913	-0.003
Настоящая работа	48881.420	4767	-0.014
	50716.379	5228	-0.004
	51428.864	5407	0.006
	51440.804	5410	0.007
	51926.418	5532	0.004
	51934.387	5534	-0.004
	51946.323	5537	0.001
EV Vul: $\text{MinI} = \text{HJD}2442731.1301(42) + 2.8220971(17)E + 0.029(9) \sin[0.490(5) + 0.0407(1)E]$			
[58]	28403.394	-5077	0.023
[57]	28750.459	-4954	-0.004
[58]	28750.512	-4954	0.049
	29114.452	-4825	-0.036
	29169.280	-4806	0.154
	29546.282	-4672	0.0144
	30260.323	-4419	0.036
	30308.272	-4402	0.028
	30412.646	-4365	-0.004
	30940.429	-4178	0.014
	31318.548	-4044	-0.005
	36378.517	-2251	-0.071
	36395.485	-2245	-0.029
[24]	36748.37	-2120	0.063
[30]	36810.344	-2098	-0.027
	36841.393	-2087	-0.008
	36875.274	-2075	0.019
	38235.511	-1593	0.010
[26]	42731.135	0	-0.009
Настоящая работа	48454.359	2028	-0.012
	48457.183	2029	-0.010
	48087.491	1898	-0.001
	48095.952	1901	-0.004
	51090.213	2962	0.002
	52106.120	3322	-0.002
	52117.416	3326	0.009
	52120.234	3327	0.006
	52131.522	3331	0.009

АТ ЛИСИЧКИ

Кривые блеска ТДС в UBVR-полосах, построенные по нашим эфемеридам, показаны на рис. 2. На участках вне затмения наблюдается непрерывное изменение блеска, и ТДС можно отнести к типу EB (в ОКПЗ указан тип EA, см. табл. 2). Небольшие флуктуации блеска превышают точность фотометрии звезды. Возможно, в системе есть околос звездные образования, которые вызывают эти случайные колебания блеска. При решениях нормальных кривых блеска мы исключали из анализа сильно отклонившиеся точки. В программе Лаврова вычисление коэффициентов ректификации определяется из разложения внезатменных участков фаз на кривых блеска в тригонометрический ряд:

$$l = A_0 + \sum_{n=1}^4 (A_n \cos n\theta + B_n \sin n\theta),$$

где θ — фазовый угол. В программе можно выбрать счет необходимых коэффициентов, которые нам нужны при ректификации кривой блеска

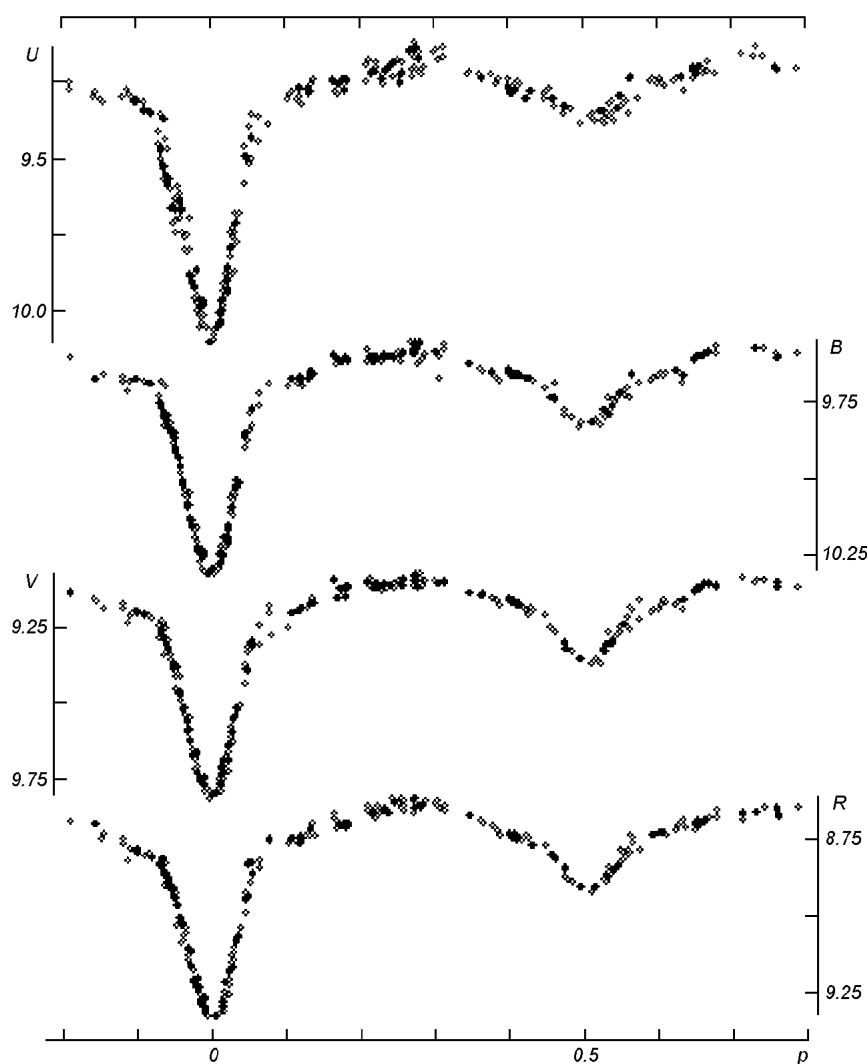


Рис. 2. Кривые блеска AT Vul

Таблица 7. Коэффициенты ректификации кривых блеска AT Vul

Коэффициент	U	B	V	R
A_0	0.925 ± 0.037	0.931 ± 0.012	0.936 ± 0.003	0.923 ± 0.005
A_1	-0.038 ± 0.004	-0.014 ± 0.004	-0.020 ± 0.002	-0.022 ± 0.004
A_2	0.063 ± 0.004	-0.065 ± 0.004	-0.063 ± 0.003	-0.080 ± 0.004

Таблица 8. Элементы фотометрической орбиты AT Vul

Параметр	U	B	V	R	(BVR)	Литературный источник		
						[61]	[29]	[21]
a_1	0.4038	0.3512	0.3383	0.3392	0.3429 ± 0.0004	0.270	0.23	0.295
b_1	0.3690	0.3241	0.3129	0.3074	0.3148 ± 0.0005			
a_2	0.2044	0.1784	0.1715	0.1720	0.1740 ± 0.0002	0.164	0.19	0.191
b_2	0.1871	0.1643	0.1586	0.1558	0.1596 ± 0.0002			
x_1	0.35	0.33	0.27	0.22				
x_2	0.48	0.48	0.40	0.33				
i , град	71.5	75.09	77.4	76.2	77.3 ± 1.1	83.9		80
e	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02			
ω , град	65	65	65	65	65			
$L_1/(L_1+L_2)$	0.390	0.486	0.576	0.573		0.577	0.178	0.41
	± 0.004	± 0.011	± 0.006	± 0.009				
ε	0.017^m	0.007^m	0.005^m	0.007^m				

(табл. 7). Мы оставили только те члены ряда, коэффициенты которых превышали точность их определения не менее чем в три раза (правило 3σ), и процедура счета повторялась заново.

В процессе решения кривых блеска мы слегка варьировали коэффициенты потемнения к краю дисков с целью уменьшения суммы квадратов отклонений от теоретических кривых блеска. В главном минимуме затмевается малая по размерам, но более горячая звезда (гипотеза $B \rightarrow M$). Поиск эксцентриситета и долготы периастра производился путем подбора их возможных значений. Применяя критерий χ^2 для оценок значимости ЭФО, мы получили конечные результаты (табл. 8). ЭФО в таблицах даны в общепринятых обозначениях. В последней строке указаны средние ошибки отклонения нормальных точек от теоретической кривой блеска. В шестой графе приведены усредненные геометрические элементы. Видно, что наши значения ЭФО отличаются от данных [21, 29, 61]. Причина столь заметных различий можно объяснить более точной фотометрией звезды и большим количеством нормальных точек в минимумах, использованным нами. Напомним, что только в работе [61] решена визуальная кривая блеска AT Vul, а в двух остальных источниках значения ЭФО оценены на основе статистических свойств ТДС.

Данные табл. 5 и 8 позволяют легко вычислить фотометрические величины каждого компонента (табл. 9). На рис. 3 показаны положения компонентов ТДС на двухцветной диаграмме ($U - B$), ($B - V$). По линии нарастающего покраснения компоненты пересекают стандартные линии в точке $B0 \pm 0.5$ и $B4 \pm 2$. На диаграмме ($U - B$), ($V - R$) горячий компонент AT Vul проходит выше верхней точки стандартной линии, а холодный — в точке $B8 \pm 1$. Возможно, такое поведение компонентов на последней диаграмме связано с тем, что звезда является ИК-источником [32], и излучение в красной области спектра несколько завышено, чем у нормальных звезд.

Таблица 9. Фотометрические величины компонентов AT Vul

Компонент	V	U-B	B-V	V-R
Горячий	9.73 ± 0.05^m	-0.63 ± 0.07^m	0.53 ± 0.06^m	0.36 ± 0.19^m
Холодный	9.98 ± 0.07	-0.04 ± 0.10	0.43 ± 0.07	0.56 ± 0.22

Рис. 3. Положения компонентов AT Vul на двухцветной диаграмме

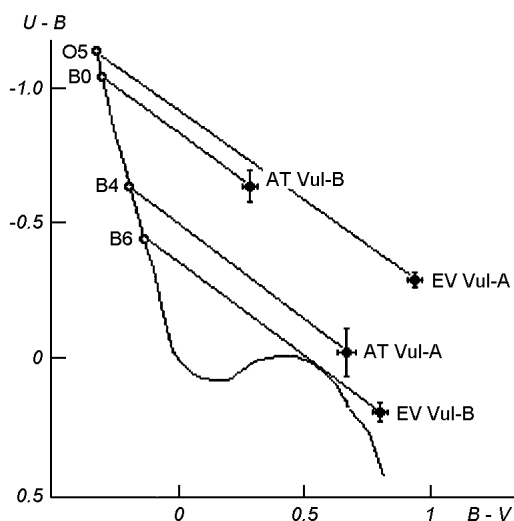


Таблица 10. Оценка абсолютных параметров компонентов AT Vul

Литературный источник	M/M_{\odot}	R/R_{\odot}	M_{bol}	Sp/T, К	A/R_{\odot}
Горячий компонент					
Настоящая работа	16.0	5.1	-5.9	B0.5	30.5
[29]	8.66	4.73	-2.6	14560	24.73
[21]	6.7	4.25	-3.6	B3	22.3
Холодный компонент					
Настоящая работа	8.1	10.0	-5.0	B4	
[29]	4.15	5.65	-1.0	9070	
[21]	2.7	6.6	-2.2	B8.5	

Если спектральные классы компонентов будут такими же, как определенные на первой диаграмме, то собственный избыток цвета горячего компонента получится $\delta(V-R) = 0.25^m$. Избытки показателей цвета компонентов E_{B-V} отличаются на друг от друга на 0.31 ± 0.04^m .

Оценка абсолютных характеристик AT Vul по схеме М. М. Закирова [8, 9] показала, что горячий компонент находится на начальной главной последовательности, а холодный — на стадии эволюции после ухода с главной последовательности. Полученные результаты даны в табл. 10, где для сравнения приведены данные других исследований. Наши значения параметров компонентов получены с использованием теоретической диаграммы Г—Р, построенной для звезд с нормальным содержанием химических элементов [35].

Отношения масс компонентов $q = 0.5$ и критические радиусы звезд составляют $r_{crit,h} = 0.440$, $r_{crit,c} = 0.313$. Здесь под критическими радиусами

звезд понимаем радиусы сечения максимальных размеров соответствующих компонентам полостей Роша, перпендикулярных к линии, соединяющей центры масс звезд в плоскости орбиты. Если горячий компонент заполняет полость Роша только на 36 %, то холодный компонент полностью занимает ее. В таком случае вполне может иметь место истечение вещества с холодной звезды на горячую, и это приведет к изменению орбитального периода ТДС. Период AT Vul за последние семь десятилетий монотонно увеличивается (см. табл. 6), что подтверждает наше предположение. В случае консервативного процесса легко найти скорость истечения вещества по формуле [56]:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{3(1 - q^2)\Delta M}{qM},$$

где ΔP — изменение периода за единицу времени, M — сумма масс компонентов, ΔM — масса истечения вещества за единицу времени. Подстановка данных для AT Vul дает $\dot{M} = (7.7 \pm 0.7) \cdot 10^{-9} M_{\odot}/\text{год}$, что является характерной скоростью истечения вещества в ТДС [4]. В работе [44] показано, что струя вещества в системах с такими параметрами как AT Vul, проникает в фотосферу горячего компонента и не образует вокруг него диск.

Принимая избыток системы цвета E_{B-V} по горячему компоненту, находим величину поглощения света при нормальном законе $A_V = 1.85^m$ и находим блеск компонента, свободный от межзвездного покраснения: $V_0 = 8.14^m$. В этом случае модуль расстояния AT Vul с учетом космической дисперсии В-звезд [19] составляет $m - M = 11.2 \pm 0.6$. Оценка удаленности ТДС по соотношению Барнса — Эванса [47], записанному в удобной форме [16]

$$F_V = 3.7369 - 0.1V_0 - 0.5 \lg R/R_{\odot}, \text{ пк},$$

приводит к значению $m - M = 11.1 \pm 0.6$ по данным горячего компонента и 11.4 ± 0.6 — по данным холодного. Спектр горячей звезды был принят как В0, а холодной — В4. Значения потока F_V брались из работы [55]. Модуль расстояния ОВ-ассоциации Vul OB1 равно $m - M = 11.5$ [5, 62].

Собственные движения AT Vul по измерениям HIPPARCOS составляют $\mu_{\alpha} \cos \delta^* = -2.3 \pm 1.7$ мсд/год и $\mu_{\delta}^* = -5.8 \pm 1.6$ мсд/год. Средние значения собственных движений членов ассоциации Vul OB1 в галактической системе координат [5] были переведены нами в экваториальную систему: $\langle \mu_{\alpha} \cos \delta \rangle = -10.5 \pm 1.3$ мсд/год, $\langle \mu_{\delta} \rangle = -4.2 \pm 8.4$ мсд/год [17]. Определим вероятность принадлежности звезды к ОВ-ассоциации по формуле, основанной на распределении Релея — Райса для случая двух независимых нормально распределенных случайных чисел и часто используемой исследователями рассеянных звездных скоплений [17]:

$$P = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(\mu_{\alpha} \cos \delta^* - \langle \mu_{\alpha} \cos \delta \rangle)^2}{2\sigma_{\alpha}^2} + \frac{(\mu_{\delta}^* - \langle \mu_{\delta} \rangle)^2}{2\sigma_{\delta}^2} \right] \right\},$$

где σ^2 — сумма квадратов ошибок определения собственных движений звезды и ассоциации по каждой координате. Вероятность принадлежности звезды к ОВ-ассоциации равна 0.03. Однако сравнение расстояний звезды и ассоциации, а также ранний спектральный класс AT Vul позволяют нам предположить, что ТДС относится к физическим членам ОВ-ассоциации Vul OB1.

EV ЛИСИЧКИ

Фотоэлектрические кривые блеска EV Vul показаны на рис. 4. Переменная — типичная EB-система с непрерывным изменением блеска. После последнего контакта в главном минимуме имеются депрессии на кривых блеска, особенно заметные в *V*- и *R*-цветах, известные как «плечи» [16]. Разложение внезатменных частей кривых блеска звезды в ряд Фурье показало наличие заметного эффекта фазы, связанного с отражением и эллипсоидальностью компонентов. Результаты решения кривых блеска EV Vul даны в табл. 11. Обозначения параметров такие же, как и в табл. 8. В двух последних столбцах приведены ЭФО системы по другим источникам. Как было показано выше, EV Vul является тройной системой. Однако поиск третьего компонента при решении кривых блеска ТДС не дал положительных результатов, возможно, из-за нестационарной кривой блеска системы. Как видим из сравнения, наибольшие отличия параметров ТДС показывают относительные радиусы компонентов. Наши результаты в полтора раза превышают данные других исследований.

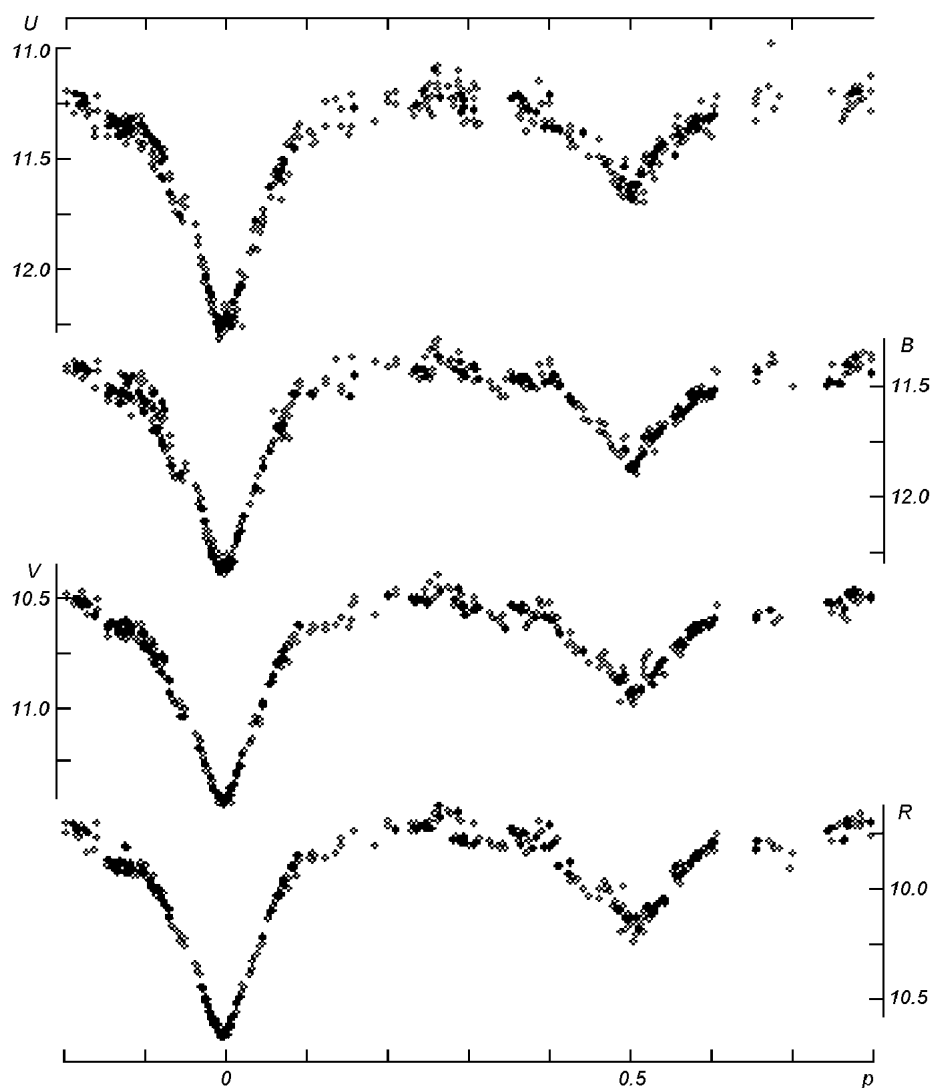


Рис. 4. Кривые блеска EV Vul

Таблица 11. Элементы фотометрической орбиты EV Vul

Параметр	U	B	V	R	(UBVR)	[29]	[21]
a_1	0.401	0.405	0.427	0.451	0.421 ± 0.04	0.274	0.278
b_1	0.366	0.375	0.392	0.415	0.384 ± 0.04		
a_2	0.321	0.324	0.342	0.361	0.337 ± 0.04	0.199	0.221
b_2	0.293	0.300	0.312	0.332	0.310 ± 0.04		
x_1	0.33	0.10	0.10	0.21			
x_2	0.33	0.30	0.30	0.30			
i , град	83.0	83.6	82.6	83.2	83.1 ± 0.4		88
$L_1/(L_1+L_2)$	0.841	0.783	0.796	0.776		0.565	0.71
	± 0.006	± 0.005	± 0.004	± 0.005			
ε	0.018^m	0.019^m	0.020^m	0.023^m			

Таблица 12. Фотометрические величины компонентов EV Vul

Компонент	V	U-B	B-V	V-R
Горячий	10.68 ± 0.01^m	-0.25 ± 0.01^m	0.94 ± 0.01^m	0.77 ± 0.01^m
Холодный	12.42 ± 0.02^m	0.20 ± 0.04^m	0.73 ± 0.03^m	0.84 ± 0.03^m

Таблица 13. Фотометрия звезд в окрестностях EV Vul

HD/BD	v	U-B	B-V	V-R	Спектр			E_{B-V}	m - M
					HD	[3]	Q-метод		
345070	10.77	0.04	0.49	0.43	F5	F8	F4	0.07	7.0
345071 ¹	9.32	-0.21	0.38	0.34	B5	B9	B4	0.56	8.7
345074	10.38	1.06	1.35	1.03	K5	G5	K3/G9III	0.40/0.36	2.2/8.3
345075 ²	9.70	0.01	0.61	0.52	G0	G5III	B5	0.76	8.0
345077	9.89	-0.03	0.46	0.39	G5	G5III	B6	0.61	8.4
345078	9.42	0.17	0.68	0.57	G8	F6	G5/F7III	0.03/0.17	4.5/7.3:
23°3810 ³	10.24	0.62	1.04	1.28	—	A1			

¹ звезда сравнения, ² контрольная звезда, ³ пара звезд с угловым разделением 5"

Табл. 12 содержит фотометрические величины каждого компонента EV Vul, вычисленные по данным табл. 5 и 11.

На двухцветных диаграммах $U - B$ — $(B - V)$ горячий компонент по линии нарастающего покраснения пересекает стандартную кривую в ее наивысшей точке (спектр O5, рис. 3), что не согласуется со спектральной классификацией звезды B1V [41]. На диаграмме $U - B$ — $(V - R)$ звезды показывают признаки спектра B1 и B5.5. Нам не удалось провести оценку абсолютных характеристик EV Vul по схеме, использованной при анализе AT Vul. Основная причина заключена в большом значении фотометрических радиусов компонентов, полученных при решении кривых блеска. Возможно, что компоненты окружены достаточно плотными оболочками, приводящие к большим видимым радиусам. Однако ответ на этот вопрос можно получить из спектральных наблюдений ТДС. Напомним, что EV Vul является источником ИК-излучения [37] и, возможно, околозвездные структуры вносят свой вклад в это излучение. Если мы возьмем спектр горячего компонента B1V, как принято в ОКПЗ, то модуль расстояния звезды с учетом космической дисперсии класса светимости, будет равным

$m - M = 10.0 \pm 0.6$, что совпадает с удаленностью ОБ-ассоциации Vul OB4 ($m - M = 10.0$) [5]. Вероятность принадлежности ТДС к ОБ-ассоциации Vul OB4 по собственным движениям приводит к значению $P = 0.78$. Исходя из раннего спектрального класса EV Vul, оценки расстояния и высокой вероятности принадлежности переменной по собственным движениям, ТДС можно отнести к физическим членам ОБ-ассоциации Vul OB4.

В окрестностях EV Vul наблюдается небольшая группа звезд, близких по блеску. Мы провели фотометрию этих звезд в *UBVR*-полосах (табл. 13). Анализ положений звезд на двухцветной диаграмме показал, что звезды HD 345075 и HD 345077 имеют показатели цвета, характерные более ранним спектральным классам, чем их спектры [3]. Оценка расстояния звезд выполнена в предположении их принадлежности к главной последовательности, а для поздних спектральных классов — к ветви гигантов. Полученные значения позволяют заподозрить существование группы звезд (HD 345071, 345074, 345075, 345077) на расстоянии $m - M = 8.4 \pm 0.1$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получены фотоэлектрические кривые *UBVR*-блеска звезд AT Vul и EV Vul, расположенных в области ОБ-ассоциации Vul OB1 и Vul OB4. Уточнены эфемериды минимумов, причем период AT Vul уменьшается, а кажущиеся изменения периода EV Vul обусловлены наличием в системе третьего тела. Сделана спектральная классификация каждого компонента AT Vul по фотометрическим наблюдениям и оценены их физические параметры. Интерпретация кривой блеска EV Vul встречает трудности. Система содержит далекий третий компонент с орбитальным периодом вращения 436 сут. Обе звезды нуждаются в спектральных наблюдениях. AT Vul отнесена к физическим членам ОБ-ассоциации Vul OB1, а EV Vul — к ОБ-ассоциации Vul OB4.

Авторы искренне благодарны рецензенту за полезные замечания. При подготовке работы использовались информация банка астрономических данных SIMBAD, а также пакет программ STARLINK. Работа выполнена при финансовой поддержке Центра по науке и технологиям Республики Узбекистан (Грант Ф2.1.76).

1. Амбарцумян В. А., Кандалян Р. А. О связи областей современного звездообразования со звездными ассоциациями // *Астрофизика*.—1989.—30, № 3.—С.455—469.
2. Арчешавили В. М., Мдзинаршвили Т. С., Дзигвашвили Р. М. Определение кинематических параметров экстремально молодых звезд в окрестности Солнца по данным лучевых скоростей с учетом случайных ошибок фотометрических расстояний // *Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории*.—1989.—№ 66.—С. 85—104.
3. Бартая Р. А., Харадзе Е. К. Спектры и светимости звезд в области ОБ-ассоциации Vul 1 // *Бюлл. Абастум. астрофиз. обсерватории*.—1996.—№ 35.—С. 109—118.
4. Бэттен А. Двойные и кратные звезды.—М.: Мир.—1976.— 323 с.
5. Дамбис А. К., Мельник А. М., Расторгуев А. С. Тригонометрические параллаксы и кинематически согласованная шкала расстояний до ОБ-ассоциаций // *Письма в Астрон. журн.*—2001.—27, № 1.—С. 68—75.
6. Ерлексова Г. Е. Краткие замечания о 9 неисследованных звездах из КПЗ // *Астрон. циркуляр*.—1956.—№ 171.—С.24—25.
7. Железнякова А. И. Результаты исследования прозрачности и влагосодержания атмосферы на астропункте Майданак // *Астроклимат и эффективность телескопов*.—Л.: Наука, 1984.—С. 55—59.
8. Закиров М. М. Тесные двойные системы в областях звездообразования. AM Aug в Т-ассоциации Aug T1 // *Письма в Астрон. журн.*—1995.—21, № 10.—С.756—764.
9. 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.

10. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в областях звездообразования. GG Ori и OS Ori в ассоциации Ori I // Письма в Астрон. журн.—1997.—23, № 8.—С. 626—632.
11. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в областях звездообразования. V502 Cyg в Т-ассоциации Cyg T2 // Письма в Астрон. журн.—1997.—23, № 6.—С. 458—468.
12. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в областях звездообразования. EY Ori в ассоциации Ori I // Письма в Астрон. журн.—1998.—24, № 12.—С. 931—938.
13. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в областях звездообразования. KV Cyg, V435 Cyg V699 Cyg в OB-ассоциации Cyg OB1 // Письма в Астрон. журн.—1999.—25, № 4.—С. 276—290.
14. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в областях звездообразования. EQ Ori в ассоциации Ori I // Письма в Астрон. журн.—2001.—27, № 6.—С. 442—449.
15. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в областях звездообразования. BZ Mop в OB-ассоциации Mop OB2 // Письма в Астрон. журн.—1997.—27, № 8.—С. 632—640.
16. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в спиральном рукаве Персея. III. IQ Cas и CS Per // Кинематика и физика небесн. тел.—2002.—18, № 4.—С. 291—305.
17. *Закиров М. М., Эшанкулова М. У.* Тесные двойные системы в области OB-ассоциаций. I. Предварительное исследование // Кинематика и физика небесн. тел.—2004.—20, № 4.—С. 313—327.
18. *Лавров М. И.* Комплекс программы на языке «Бейсик» для анализа кривых блеска затменных двойных систем // Тр. Казанск. городск. астрон. обсерватории.—1993.—№ 53.—С. 34—47.
19. *Мдзинаришвили Т. Г.* Задача определения функции пространственной плотности звезд по данным каталогов BV-фотометрии и МК-классификации // Бюл. Абастуман. обсерватории.—1985.—№ 59.—С.117—124.
20. *Рубашевский А. М.* Законы потемнения к краю в фотометрических системах UBVR и uvby // Бюлл. Абастум. астрофиз. обсерватории.—1985.—№ 58.—С. 389—408.
21. *Свечников М. А., Кузнецова Э. Ф.* Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд. Свердловск: Уральский гос. ун-т.—1990.—2.—232с.
22. *Страйжис В.* Многоцветная фотометрия звезд. — Вильнюс: Мокслас, 1977.—312 с.
23. *Харди Х.* Редукция фотоэлектрических наблюдений // Методы астрономии / Под ред. В. А. Хилтнера.—М.: Мир, 1965.—С.157—183.
24. *Цесевич В. П.* О двух затменных переменных // Астрон. циркуляр.—1960.—№ 215.—С. 23—24.
25. *Чуприна Р. И.* Затменная переменная звезда AT Лисички // Перемен. звезды.—1953.—9, № 4.—С. 224—225.
26. *Шаров А. С., Холопов П. Н.* EV Лисички // Перемен. звезды. Приложение.—1979.—3, № 18.—С. 723—724.
27. *Aitken R. G.* New general catalogue of double stars. Washington.—1932.—II.—P. 708—1488.
28. *Bernabei S., Polcaro V. F.* A search for peculiar objects in young open clusters. II. A new Be star, the optical counterpart of IRAS 19564+3224 and a new open cluster in Vulpecula // Astron. Astrophys.—2001.—371, N 1.—P. 123-132.
29. *Branewicz H. K., Dworak T. Z.* A catalogue of parameters for eclipsing binaries // Acta astron.—1980.—30, N 3.—P. 501—524.
30. *Busch H.* // Beobachtungs-Zirkular von der Bruno H. Burgelsternwarte, Hartha.—1964.—N 18.—P.1.
31. *Cannon A. J., Mayall M. W.* The J. Cannon memorial volume of the Henry Draper extention // Harvard Annals—1949.—112.—P. 1—295.
32. *Codella C., Palumbo G. C., Pareschi G., et al.* IRAS-selected Galactic star-forming regions. II. Water maser detections in the extended sample // Month. Not. Roy. Astron. Soc.—1995.—276, N 1.—P. 57—73.
33. *Dommanget J.* Un catalogue des composantes d'etoiles double et multiples (CCDM) // Bull. Inform. Centre donness stellaries.—1983.—24.—P. 83—90.
34. *Ehlerova S., Palous J., Huchtmeier W. K.* The H I supershell GS061+00+51 and its neighbours // Astron. Astrophys.—2001.—374, N 3.—P. 682—690.
35. *Fagotto F., Bressan A., Bertelli G., Chiosi C.* Evolutionary sequences of stellar models with new radiative opacities. III. Z = 0.0004 and z = 0.05 // Astron. Astrophys. Sup. Ser.—1994.—104, N 2.—P. 365—376.
36. *Fresneau A., Monier R.* Analysis of the Vulpecula rift from a photographic survey of proper motions // Astron. J.—1999.—118, N 1.—P. 421—431.
37. *Friedemann C., Guertler J., Loewe M.* Eclipsing binaries as IRAS sources // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1996.—117, N 2.—P. 205—225.
38. *Gaposhkin S.* The eclipsing binaries // Annals of Harvard Univ.—1953.—113. N 2.—P. 1—69.
39. *Garmany C. D., Stencel R. E.* Galactic OB associations in the Nothen Milky Way Galaxy //

- Astron. Astrophys. Sup. Ser.—1992.—**94**, N 2.—P. 211—244.
40. *Hilditch R. W., Hill G.* Strömgen four-color observations of northern hemisphere binary systems // Mem. Roy. Astron. Soc.—1975.—**79**, N 2.—P. 101—129.
 41. *Hiltner W. A., Iriarte B.* Photometric and spectroscopic studies of early-type stars between galactic longitudes $l = 338^\circ$ and $l = 33^\circ$ // Astrophys. J.—1955.—**122**, N 1.—P. 185—189.
 42. *Hoffmeister C.* 93 neue Veränderliche // Astron. Nachr.—1930.—**240**.—P. 193—198.
 43. *Hoffmeister C.* 171 neue Veränderliche // Astron. Nachr.—1944.—**274**.—P. 176—180.
 44. *Kaitchuck R. H., Honeycutt R. K., Schlegel E. M.* A survey for transient accretion disks in short-period Algol systems. II // Publ. Astron. Soc. Pacif.—1985.—**97**, N 598—P. 1178—1185.
 45. *Koch R. H., Wood F. B., Florkowski D. R., Oliver J. P.* Photoelectrically-neglected binaries // Inform. Bull. Var. Stars.—1979.—N 1709.—P. 1—3.
 46. *Kreiner J. M.* Visual minima of eclipsing binaries from Crakow observations in 1920—1950 // Acta astron.—1976.—**26**, N 4.—P. 341—349.
 47. *Lacy C. H.* Distances to eclipsing binaries: an application of the Barnes — Evans relation // Astrophys. J.—1977.—**213**, N 2.—P. 458—463.
 48. *Lacy C. H.* UVB photometry of selected eclipsing binary stars // Astron. J.—1992.—**104**, N 2.—P. 801—809.
 49. *Landolt A. U.* UBVR photoelectric standard stars around the celestial equator // Astron. J.—1983.—**88**, N 3.—P. 439—460.
 50. *Layse F.* Beobachtungen von Bedeckungsveränderlichen. I. // Astron. Nachr.—1933.—**250**, N 5977.—P. 10—16.
 51. *MacDonald D. D.* Spectra of 179 eclipsing binaries // Publ. McCormick Observ.—1964.—**XII**, N 5.—P. 51—60.
 52. *Morgan W. W., Whitford A. E., Code A. D.* Studies in galactic structure. I. A preliminary determination of the space distribution of the blue giants // Astroph. J.—1953.—**118**, N 2.—P. 318—322.
 53. *Nekel T., Staudeh J.* Multiple star formation in the Bok globule L80 // Astron. Astrophys.—1990.— **231**, N 1.—P. 165—173.
 54. *Pigulski A., Kolaczowski Z., Kopacki G.* A CCD search for variable stars of spectral type B in the northern hemisphere open clusters. III. NGC 6822 // Acta astron.—2000.—**50**, N 1.—P. 113—132.
 55. *Popper D. M.* Stellar masses // Ann. Rev. Astron. Astrophys.—1980.—**18**.—P. 115—164.
 56. *Pribulla T.* Efficiency of mass transfer and outflow in close binaries // Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.—1988.—**XXVIII**, N 2.—P. 101—108.
 57. *Richter G.* Feld γ Sagittae // Mitt. Veröff. Sonnenberg.—1960.—N 492.
 58. *Richter G.* Die veränderlichen Sterne der nördlichen Milchstrasse // Veröff. Stern. Sonneberg.—1961.—4, N 6.—P. 433—515.
 59. *Roeser S., Bastian U., Nesterov V. V., et al.* The Henry Draper extension charts: a catalogue of accurate positions, proper motions, magnitudes and spectral types of 86 9333 stars // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1995.—**110**, N 2.—P. 367—370.
 60. *Schmidt K. H.* Verzeichnis von 62 O- und B-Sterngruppen // Astron. Nachr.—1957.—**284**.—P. 76—78.
 61. *Slonim J. M.* Die Bestimmung der Bahnelemente der Bedeckungsveränderlichen XZ Vulpeculae und AT Vulpeculae // Bull. Tashkent Astron. Observ.—1934.—N 2.—P. 31—38.
 62. *The P. S., Paradijs J. A.* UBV photoelectric photometry of early type stars in the direction of the associations Vul OB1 and Vul OB4 // Astron. Astrophys.—1971.—**13**, N 2.—P. 274—279.
 63. *Westerhout G.* A study of the continuous radiation from the galactic system at a frequency of 1390 Mc/s // Bull. Astron. Inst. Netherl.—1958.—**14**.—P. 215—260.
 64. *Whitney B. S.* Minima and periods of eclipsing stars // Astron. J.—1959.—**64**, N 7.—P. 258—265.
 65. *Wood D. B., Forbes J. E.* Ephemerides of eclipsing stars // Astron. J.—1963.—**68**, N 4.—P. 257—269.

Поступила в редакцию 26.01.04