

УДК 324.387

М. М. Закиров

Национальный университет Узбекистана,  
700174 Узбекистан, Ташкент, Вузгородок

### Тесные двойные системы в спиральном рукаве Персея. III. IQ Кассиопеи и CS Персея

В 1988—1999 гг. впервые выполнены фотоэлектрические UBVR-наблюдения затменных переменных звезд IQ Cas и CS Per на Майданакской обсерватории Астрономического института АН Узбекистана. Уточнены эфемериды минимумов:  $\text{Min } I = \text{JDH } 2451113.535(21) + 3.5417102(97) \cdot E$  для IQ Cas и  $\text{Min } I = \text{JDH } 2449417.549(64) + 23.25765(16) \cdot E$  для CS Per. Все кривые блеска звезд решены прямым методом Лаврова, и получены элементы фотометрических орбит. Сделана оценка абсолютных параметров компонентов:  $M_h = 6.3M_\odot$ ,  $M_c = 2.0M_\odot$ ,  $R_h = 5.4R_\odot$ ,  $R_c = 3.2R_\odot$ ,  $M_{h, \text{bol}} = -3.7^m$ ,  $M_{c, \text{bol}} = 1.4^m$  для IQ Cas и  $M_h = 4.0M_\odot$ ,  $M_c = 3.1M_\odot$ ,  $R_h = 4.3R_\odot$ ,  $R_c = 11.87R_\odot$ ,  $M_{h, \text{bol}} = -1.9^m$ ,  $M_{c, \text{bol}} = -0.7^m$  для CS Per. Возраст горячего компонента IQ Cas  $3 \cdot 10^7$  лет, холодного —  $2 \cdot 10^6$  лет. Горячий компонент удаляется от начальной главной последовательности, а спутник еще не достиг ее. Оба компонента CS Per покинули главную последовательность, и их возраст составляет  $(1-3) \cdot 10^8$  лет. Природа CS Per не совсем ясна. Модули расстояния звезд и двойного скопления  $h$  и  $\chi$  Персея близки друг к другу. Двойные системы являются вероятными членами спирального рукава в Персее.

ТІСНІ ПОДВІЙНІ СИСТЕМИ У СПІРАЛЬНОМУ РУКАВІ ПЕРСЕЯ. III. IQ КАССІОПЕЇ ТА CS ПЕРСЕЯ, Закиров М. М. — У 1988—1999 рр. вперше виконано фотоелектричні UBVR-спостереження затемнюваних змінних зірок IQ Cas та CS Per на Майданакській обсерваторії Астрономічного інституту АН Узбекистану. Уточнено ефемериди мінімумів:  $\text{Min } I = \text{JDH } 2451113.535(21) + 3.5417102(97) \cdot E$  для IQ Cas і  $\text{Min } I = \text{JDH } 2449417.549(64) + 23.25765(16) \cdot E$  для CS Per. Всі криві блиску зірок розв'язані прямим методом Лаврова, і отримано елементи фотометричних орбіт. Оцінені абсолютні параметри компонентів:  $M_h = 6.3M_\odot$ ,  $M_c = 2.0M_\odot$ ,  $R_h = 5.4R_\odot$ ,  $R_c = 3.2R_\odot$ ,  $M_{h, \text{bol}} = -3.7^m$ ,  $M_{c, \text{bol}} = 1.4^m$  для IQ Cas і  $M_h = 4.0M_\odot$ ,  $M_c = 3.1M_\odot$ ,  $R_h = 4.3R_\odot$ ,  $R_c = 11.87R_\odot$ ,  $M_{h, \text{bol}} = -1.9^m$ ,  $M_{c, \text{bol}} = -0.7^m$  для CS Per. Вік гарячого компонента IQ Cas  $3 \cdot 10^7$  років, холодного —  $2 \cdot 10^6$  років. Гарячий компонент віддаляється від початкової головної послідовності, а супутник ще не досяг її. Обидва

компоненти *CS Per* покинули головну послідовність, і їхній вік складає  $(1-3) \cdot 10^8$  років. Природа *CS Per* не зовсім зрозуміла. Модулі відстаней зірок і подвійного скупчення  $h$  і  $\chi$  Персея близькі один до одного. Подвійні системи є ймовірними членами спірального рукава у Персеї.

*CLOSE BINARY SYSTEMS IN THE PERSEUS SPIRAL ARM. III. IQ CASSIOPEIAE AND CS PERSEI*, by Zakirov M. M. — *UBVR photometric observations of the eclipsing variable stars IQ Cas and CS Per were carried out for the first time at the Maidanak Observatory in 1988–1999. We improved the ephemerides of the binaries: Min I = JDH 2451113.535(21) + 3.5417102(97)×E for IQ Cas and Min I = JDH 2449417.549(64) + 23.25765(16)×E for CS Per. All light curves of the binaries were solved by Lavrov’s direct method, and the elements of the photometric orbit were obtained. The expected absolute basic parameters for the components were estimated:  $M_h = 6.3M_\odot$ ,  $M_c = 2.0M_\odot$ ,  $R_h = 5.4R_\odot$ ,  $R_c = 3.2R_\odot$ ,  $M_{h, \text{bol}} = -3.7^m$ ,  $M_{c, \text{bol}} = 1.4^m$  for IQ Cas and  $M_h = 4.0M_\odot$ ,  $M_c = 3.1M_\odot$ ,  $R_h = 4.3R_\odot$ ,  $R_c = 11.87R_\odot$ ,  $M_{h, \text{bol}} = -1.9^m$ ,  $M_{c, \text{bol}} = -0.7^m$  for CS Per. The ages of the IQ Cas components differ from each other —  $3 \times 10^7$  (hot) and  $2 \times 10^6$  (cool) yrs. The primary is evolving off from the ZAMS while the secondary has not reached it yet. Both components of CS Per have already left the MS, and their age is  $(1-3) \times 10^8$  yrs. The nature of CS Per isn’t obvious. The distance moduli of the binaries and the double cluster  $h$  and  $\chi$  Per are nearly the same. The binaries are probable members of the Perseus arm.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Робота являється завершенням дослідження тесних подвійних систем (ТДС) в рамках комплексної Голосеевської програми вивчення Галактики [8]. В області площадки № 1 цієї програми нами було виділено чотири ТДС, які можуть знаходитися в спіральному рукаві Персея. Результати дослідження двох ТДС (*HS Per* і *DN Cas*) опубліковані в роботах [13, 14].

Нижче приводяться результати дослідження двох залишених ТДС нашої програми: *IQ Cas* і *CS Per*.

Переменність *IQ Cas* (= 34.1943 = S3361) і її тип були установлені Хоффмейстером [35], який виконав перші спостереження зорі. Була отримана фотографічна крива блискавки, і по 14 моментах мінімумів визначені світлові елементи [36], приведені в табл. 1. Ослаблення блискавки во вторичному мінімумі помічено не було.

Приблизнені величини відносних і абсолютних параметрів *IQ Cas* дані в каталозі [19]. Точні координати і ідентифікація змінної приведені в роботі [37].

Слабка затнена змінна *CS Per* (= 18.1940) виявлена також Хоффмейстером [34], він побудував фотографічну криву блискавки ТДС і визначив ефемериду затемнення по чотирьох моментах мінімумів (табл. 1, [36]). Вторичний мінімум помітити не вдалося.

Таблиця 1. Основні дані про затемненні системи *IQ Cas* і *CS Per*

ТДС	Начальна епоха JD 2400000+	Період, сут	$m_{pg}$		DI	Sp
			Max	Min I		
<i>IQ Cas</i>	28308.42	3.54175	12.2	13.4	0.14 <sup>p</sup>	
<i>CS Per</i>	28022.40	24.2560	13.4	15.1	0.04	G0 IV

Единственный спектр CS Per (фаза 0.808<sup>p</sup>), полученный на 2.1-м телескопе обсерватории Китт-Пик с обратной дисперсией 4.6 нм/мм, приведен в работе [32]. Звезда находится в области рассеянного скопления Stock-2 (тип I2m) на расстоянии одного углового радиуса скопления [43, 45]. В работе [43] отмечено, что ТДС находится также вблизи рассеянного скопления NGC 1528 (тип II2m) на удалении трех угловых радиусов. Сахаде и Давила [45] относят CS Per к возможным членам скопления Stock-2. Заметим, что одна из звезд нашей программы DN Cas также расположена в окрестностях этого скопления [13]. Приближенные абсолютные характеристики ТДС приведены в каталоге [20]. В табл. 1 собраны основные данные о переменной, содержащиеся в ОКПЗ.

**НАБЛЮДЕНИЯ**

Фотоэлектрические UBVR-наблюдения IQ Cas и CS Per были выполнены на 1-м и 60-см телескопах Майданакской обсерватории в 1988—1999 гг. с перерывами в 1992—1997 гг. Наиболее интенсивные наблюдения звезд проведены на 1-м телескопе в 1998 г., когда было получено 49 % всех измерений IQ Cas и 45 % — CS Per. Производилась абсолютная привязка к звездам сравнения, постоянство блеска которых проверялось по контрольным звездам. Переменности какой-либо из звезд сравнения в пределах точности фотометрии не замечено. Звездные величины и показатели цвета звезд сравнения и контрольных звезд определены относительно многоцветных фотометрических стандартов в площадках SA 95, 96 и 114 [39] и звезд в рассеянных скоплениях  $\eta$  и  $\chi$  Персея [40]. Измерения опорных и стандартных звезд в площадках выполнялись при близких воздушных массах; при редукциях использовались среднемесячные значения коэффициентов атмосферной экстинкции на горе Майданак [7]. Измерения звезд редуцированы в фотометрическую систему Джонсона по методу [23] с учетом рекомендаций [21]. В случае, если показатели цвета  $V-R$  звезд в стандартных площадках даны в системе Крона—Кузинса, они пересчитывались в систему Джонсона по формуле, приведенной в [39]. Все звезды сравнения и контрольные звезды слабы и не содержатся в распространенных

Таблица 2. Фотометрические величины опорных звезд

ТДС	Опорная звезда	Координаты (эпоха 2000.0)	V	U-B	B-V	V-R
IQ Cas	C	01 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup> +59°44'44"	9.672±0.005 <sup>m</sup>	-0.009±0.003 <sup>m</sup>	0.533±0.004 <sup>m</sup>	0.448±0.003 <sup>m</sup>
	K	01 49 39 +59 39 36	12.498±0.009	0.360±0.006	0.442±0.003	0.373±0.011
CS Per	C	02 10 54 +58 38 21	11.440±0.006	0.012±0.004	0.478±0.005	0.439±0.004
	K	02 11 08 +58 41 11	10.535±0.001	1.600±0.030	0.551±0.004	1.183±0.001

Примечание: C — звезда сравнения, K — контрольная

Таблица 3. Ошибки определения блеска ТДС в максимуме и число измерений

ТДС	$\sigma_V$	$\sigma_{U-B}$	$\sigma_{B-V}$	$\sigma_{V-R}$	Количество измерений			
					U	B	V	R
IQ Cas	0.030 <sup>m</sup>	0.029 <sup>m</sup>	0.020 <sup>m</sup>	0.025 <sup>m</sup>	317	351	346	337
CS Per	0.010	0.060	0.012	0.008	235	252	253	250

Таблица 4. Фотометрические характеристики кривых блеска ТДС

ТДС	Фаза	V	U–B	B–V	V–R
IQ Cas	Max	12.538 <sup>m</sup>	–0.109 <sup>m</sup>	0.446 <sup>m</sup>	0.454 <sup>m</sup>
	Min I	13.159	0.121	0.495	0.495
	Min II	12.783	–0.224	0.501	0.453
CS Per	Max	12.736	0.159	0.803	0.870
	Min I	13.623	0.656	1.348	1.145
	Min II	12.933	0.068:	0.724	0.817

каталогах звезд. Их координаты взяты из цифрового аналога Паломарского атласа неба (DSS). Полученные фотометрические величины опорных звезд и ошибки их определения даны в табл. 2.

Точность одного определения блеска ТДС в UBVR-полосах в максимуме и число измерений приведены в табл. 3. Фотометрические значения основных фаз кривой блеска ТДС даны в табл. 4.

#### ОРБИТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Вычисления фаз всех наблюдаемых ТДС по эфемеридам табл. 1 показывают смещения главных минимумов от нулевой фазы. Сдвиг главного минимума составляет  $\Delta\varphi = -0.057^p$  у IQ Cas и  $+0.058^p$  у CS Per, которые в последний раз наблюдались в 1943—1944 гг. Из-за большого периода CS Per (24.2<sup>d</sup>) момент главного минимума наступает на 1.4<sup>d</sup> позже, чем рассчитанный по эфемериде. Мы собрали все известные моменты минимумов ТДС, а также наши оценки, и улучшили их световые элементы методом наименьших

Таблица 5. Эфемериды минимумов IQ Cas, CS Per и отклонения O – C

Источник	Наблюдаемые моменты минимумов JDH 2400000+	E	O – C, сут
IQ Cas: Min I = JDH (2451113.535 ± 0.021) + (3.5417102 ± 0.000097) E			
[36]	28308.42	–6439	–0.04
	29165.60	–6197	0.04
	29229.45	–6179	0.14
	29374.46	–6138	–0.06
	29466.49	–6112	–0.11
	29576.39	–6081	0.00
	29955.36	–5974	0.00
	30366.29	–5858	0.09
	30373.26	–5856	–0.02
	30465.44	–5830	0.08
	30624.61	–5785	–0.13
	30674.42	–5771	0.09
	30819.44	–5730	–0.09
	31028.53	–5671	0.03
	31322.42	–5588	–0.04
	31329.56	–5586	0.02
Настоящая работа	49417.0428	–479	–0.0130
	51113.5463	0	0.0113
CS Per: Min I = JDH (2449417.549 ± 0.064) + (24.25765 ± 0.00016) E			
[36]	28022.44	–882	0.14
	29162.39	–835	–0.02
	30375.34	–785	0.04
	30787.49	–768	–0.18
Настоящая работа	49417.567	0	0.018

квадратов. Линейная формула наилучшим образом описывает эти моменты. В табл. 5 даны световые элементы ТДС и отклонения наблюдаемых моментов минимумов от эфемеридных. Вуд и Форбс [46] получили эфемериду главного минимума IQ Cas, содержащую квадратичный и кубический члены. Однако эта эфемерида совершенно не описывает наши наблюдения переменной, поскольку сильно не соответствуют виду кривой блеска.

Все кривые блеска ТДС были решены методом М. И. Лаврова [15], основанном на модели Рессела—Меррилла. Коэффициенты потемнения к краю диска компонентов брались из таблицы [18], где они рассчитаны для различных звездных фотосфер в полосах  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R$ . Наблюдаемые ТДС имеют свои особенности, поэтому проведем обсуждение по каждой звезде отдельно.

### IQ КАССИОПЕИ

Кривые блеска IQ Cas в  $UBVR$ -полосах, построенные по нашей эфемериде (табл. 5), показаны на рис. 1. Разброс точек на кривых блеска превышает погрешность измерений (табл. 3). На расстоянии  $8.5''$  к югу от переменной ( $P.A. = 202^\circ$ ) расположена звезда  $14.1^m V$ , световой поток которой мог попадать на фотокатод при измерении с диафрагмой  $19''$  на 1-м телескопе. Из-за большой разности блеска переменной и этой звезды она видна в поле подсмотра фотометра только в хорошие ночи.

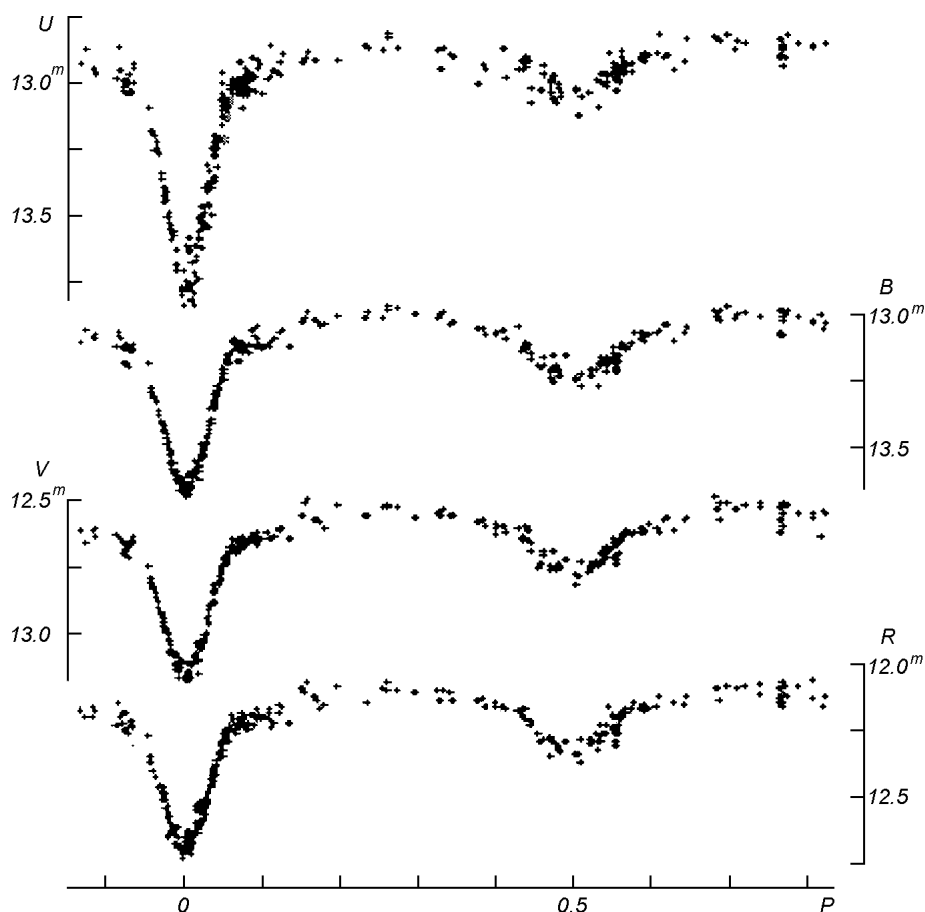


Рис. 1. Кривые блеска затменной переменной IQ Cas

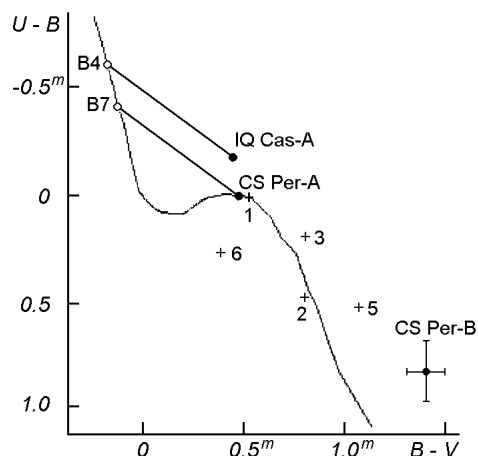


Рис. 2. Положения компонентов IQ Cas-A, CS Per и звезд в окрестностях CS Per на двухцветной диаграмме  $U-B$ ,  $B-V$

Отличительной особенностью кривых блеска ТДС в  $BVR$ -полосах является депрессия (так называемые «плечи») после выхода из главного минимума (в полосе  $U$  она незаметна из-за ошибок наблюдения). Природа «плеч» на кривых блеска ТДС подробно обсуждается в [2, 3]. Одной из причин появления небольших ослаблений света вблизи минимума могут быть достаточно устойчивые газовые структуры, которые затмевают звезду в определенных фазах [2]. В работе [3] рассмотрено также явление дифракции света ярких пятен на поверхности затмеваемой звезды. Продолжительность затмения в обоих минимумах примерно одинакова и равна  $0.13^p$ , которая практически совпадает с данными табл. 1. Ректификация кривых блеска показала наличие заметного эффекта фазы, связанного с отражением и эллипсоидальностью компонентов. Во всех цветах в главном минимуме затмевается большая по размерам и светимости звезда (гипотеза  $M \rightarrow B$ ). При решениях кривых блеска в качестве начальных элементов фотометрической орбиты (ЭФО) принимались данные [19]. Полученные ЭФО рассматривались как предварительные, так как в использованном источнике даны приближенные значения спектров звезд. Эта информация важна при выборе коэффициентов потемнения к краю диска компонентов. Уточнение спектров звезд сделаем с использованием двухцветных диаграмм, для чего вычислим фотометрические величины каждого компонента из полученных ЭФО и табл. 5 с учетом эффекта взаимного освещения звезд (необходимые поправки вычисляются при решении по программе М. И. Лаврова [15]). Главный компонент классифицирован как звезда B4 (рис. 2). (Из-за больших ошибок определения цветов холодного компонента его спектр не удалось уточнить на двухцветных диаграммах). Температуру холодной звезды пришлось вычислить по формуле Планка, используя значения ЭФО обоих компонентов и приняв температуру горячей звезды B4 по шкале Поппера [44]. В каталоге [19] приведены спектры компонентов A2 и G7 IV. После уточнения температуры компонентов были выбраны соответствующие коэффициенты потемнения, и все кривые блеска решены заново. Полученные ЭФО мало отличаются друг от друга (около 1%), так как эффект потемнения к краю диска заметен в начале и в конце затмения, где веса точек при решении кривой блеска ТДС минимальны [15]. В табл. 6 даны новые ЭФО и для сравнения результаты в [19]. Большие и малые полуоси звезд выражены в единицах большой полуоси орбиты. В шестой колонке даны средние значения геометрических элементов по всем цветам. В последней строке указаны средние взвешенные ошибки отклонения нормальных точек от теоретических кривых блеска. По данным табл. 4 и 6

Таблица 6. Элементы фотометрической орбиты IQ Cas

Полоса	$a_c$	$b_c$	$a_h$	$b_h$	$x_h$	$x_c$	$i$	$L_c/(L_c+L_h)$	$\varepsilon$
<i>U</i>	0.262	0.245	0.179	0.167	0.36	0.72	86.09°	0.932±0.011	0.014 <sup>m</sup>
<i>B</i>	0.277	0.258	0.165	0.154	0.34	0.70	84.88	0.899±0.007	0.010
<i>V</i>	0.291	0.270	0.169	0.157	0.28	0.58	83.92	0.892±0.010	0.017
<i>R</i>	0.284	0.264	0.163	0.151	0.23	0.58	84.39	0.881±0.007	0.008
$\langle UBVR \rangle$	0.278 ±0.006	0.259 ±0.005	0.169 ±0.004	0.157 ±0.003	—	—	84.82 ±0.47	—	—
[19]	0.295	—	0.143	—	—	—	82.5	0.82	—

Таблица 7. Фотометрические величины компонентов IQ Cas

Компонент	<i>V</i>	<i>U-B</i>	<i>B-V</i>	<i>V-R</i>
Горячий	12.62±0.01 <sup>m</sup>	-0.18±0.02 <sup>m</sup>	0.45±0.01 <sup>m</sup>	0.44±0.02 <sup>m</sup>
Холодный	15.40±0.16	1.62±1.50	0.40±0.19	0.56±0.19

вычислены фотометрические величины каждого компонента (табл. 7).

Определение фундаментальных характеристик компонентов IQ Cas требует знания спектроскопических элементов ТДС. К сожалению, из-за слабого блеска звезды не известны не только эти данные, но даже нет спектральной классификации звезды. В подобных случаях авторы прибегают к различным косвенным методам, основанным на статистических данных и соотношениях между фундаментальными параметрами звезд [19, 20, 28, 31].

При исследовании ТДС нами была разработана и неоднократно использовалась своя схема оценки физических характеристик компонентов [9—14]. В этой схеме используются двухцветные диаграммы вида (*U-B*) — (*B-V*) и (*U-B*) — (*V-R*), формула Планка, абсолютные и визуальные звездные величины компонентов, их относительные радиусы и третий закон Кеплера. Если компоненты не испытали «перемену ролей» и по массе они не сильно отличаются друг от друга ( $M_2/M_1 > 0.5$ ), то их возрасты оказываются близкими [11, 12]. Поиск аналогов компонентов ТДС завершается, если удастся найти звезды на стандартной диаграмме Г—Р, массы, радиусы, светимости которых наилучшим образом согласуются с данными, получаемые из анализа кривых блеска. Например, если оценены спектры компонентов на двухцветных диаграммах, то мы подбираем такой класс их светимостей, чтобы отношения табличных и фотометрических радиусов звезд, полученные из решения кривой блеска, были близки. Таким же требованиям должны отвечать разности табличных значений абсолютных и видимых визуальных звездных величин компонентов и так далее. В результате получается набор абсолютных характеристик звезд, достоверность которого можно проверить несколькими способами. Если аналог компонентам ТДС не удастся найти, то приходится обращаться к теоретическим эволюционным трекам одиночных звезд на диаграмме Г—Р. В этом случае необходимо предполагать, что компоненты эволюционируют как одиночные звезды с такими же массами, и в системе не произошла «перемена ролей» или масштаб переноса масс был незначителен. В противном случае могут быть не найдены взаимосогласованные абсолютные параметры компонентов для данного спектрального класса из-за особенностей эволюции ТДС [16].

Оценить фундаментальные параметры компонентов IQ Cas на стандартной диаграмме Г—Р не удалось, поэтому мы обратились к теоретическим

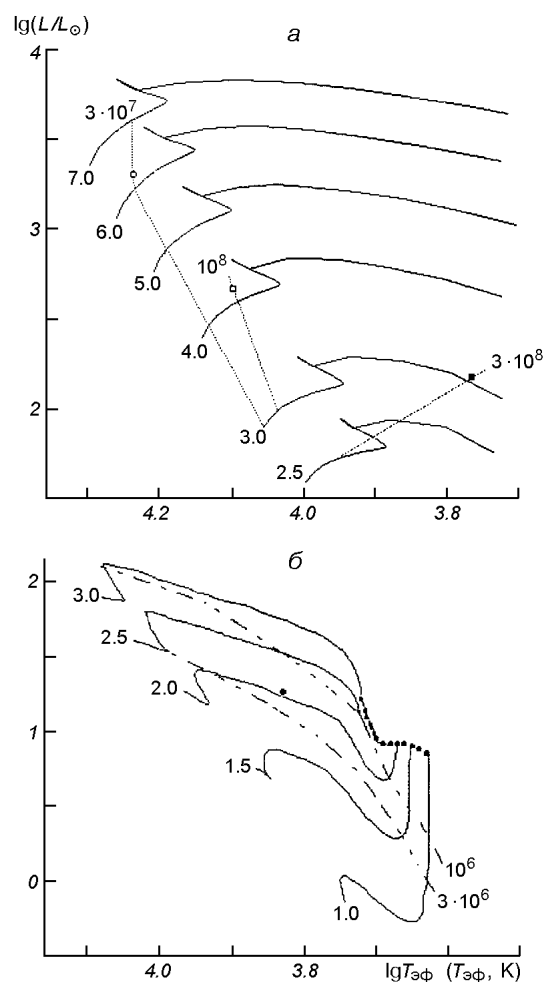


Рис. 3. Положения компонентов IQ Cas и CS Per на диаграммах Г—Р: *a* — главный компонент IQ Cas (кружок) и компоненты CS Per (пустой квадрат — главный компонент, заполненный квадрат — спутник) на диаграмме, построенной для эволюционирующих звезд от НПП по расчетам [29]. Прерывистыми линиями показаны изохроны. Цифрами в начале треков указаны массы звезд; *b* — спутник IQ Cas на диаграмме, построенной для эволюционирующих звезд к НПП по расчетам [41]

диаграммам, построенным для эволюционирующих звезд. Единственное приемлемое взаимосогласованное решение можно получить, если предположить, что главный компонент ТДС уходит с начальной главной последовательности (НПП), а холодный компонент ее еще не достиг, хотя даже и в этом случае остаются небольшие несоответствия. Температура главной звезды получена из спектра V4, а холодной —

из закона чернотельного излучения (см. выше). Боллометрическая разность блеска компонентов  $\Delta M_{bol}$  была вычислена из визуальной разности  $\Delta V$  и боллометрических поправок звезд согласно их температурам. Боллометрические поправки в различных таблицах отличаются друг от друга не более чем на  $\pm 0.2^m$ . С учетом точности  $\Delta M_{bol}$  на рис. 3 показаны положения компонентов ТДС на эволюционных треках звезд, уходящих с НПП [29] и приближающихся к ней [41], а соответствующие им фундаментальные характеристики даны в табл. 8. Массивному компоненту соответствует изохрона  $3 \cdot 10^7$  лет, а спутнику —  $2 \cdot 10^6$  лет. По возрасту звезды отличаются на порядок, хотя они, несомненно, образовались одновременно. По-видимо-

Таблица 8. Ожидаемые фундаментальные параметры IQ Cas

Параметр	Горячий компонент		Холодный компонент	
	Настоящая работа	[19]	Настоящая работа	[19]
$M/M_{\odot}$	6.3	2.15	2.0	0.86
$R/R_{\odot}$	5.4	2.0	3.2	4.15
$M_{bol}$	-3.68	1.35	1.44	2.25
$T_{эф}$	17270	—	$6830 \pm 370$	—
$Sp$	V4	A2	F1	G7 IV



му, это связано с особенностью ранней эволюции ТДС. По сценарию образования ТДС с компонентами, которые значительно отличаются друг от друга по массе, аккреция окружающей материи происходит в основном на массивный компонент, а скорость роста массы слабого компонента будет занижена по сравнению с одиночной звездой такой же массы [27]. Эволюция массивного компонента происходит в более короткой шкале, чем спутника, темп эволюции которого задержан из-за медленного роста массы. Вероятно, в этом заключается одна из особенностей ранней эволюции компонентов ТДС. Компоненты молодых широких пар, не достигшие НПП, как правило, звезды-сверстники, но если возрасты различаются, то главные компоненты старше спутников [33]. Во всяком случае, такие факты заслуживают самого пристального внимания.

Отношение масс компонентов  $q = 0.32$ , и критические радиусы звезд составляют  $r_{1к} = 0.484$  и  $r_{2к} = 0.277$  [42], т. е. компоненты заполняют свои полости Роша менее чем на 60 %.

Избыток цвета горячего компонента  $E_{B-V} = 0.65^m$ , и при нормальном законе поглощения  $A_V = 2.16^m$ . Свободный от поглощения блеск компонента  $V_0 = 10.46^m$ . Абсолютную визуальную звездную величину звезды  $M_V$  вычислим из ее болометрической величины  $M_{bol}$  с учетом соответствующей поправки для температуры  $T_h = 17\,270$  К. Согласно табличному значению  $BC_h = -1.69^m$  [43]. Эту же поправку можно вычислить по аппроксимационной формуле [4]

$$BC = -5.608 \lg(T/1000) + 5.376.$$

Вычисленное значение составляет  $BC_h = -1.56^m$ . Взяв среднее значение  $BC_h$ , получим  $M_V = -1.91^m$ . Модуль расстояния ТДС с учетом космической дисперсии абсолютных величин В-звезд [17] равен  $12.4 \pm 0.6^m$ .

Расстояние до ТДС можно найти по зависимости Барнса—Эванса [24—26]:

$$F_V = 4.2207 - 0.1V_0 - 0.5 \lg \rho,$$

где  $F_V$  — поверхностная яркость звезды,  $V_0$  — видимая звездная величина, свободная от поглощения, и  $\rho$  — ее угловой диаметр, выраженный в  $0.001''$ . В работе [38] это выражение приведено в виде

$$F_V = 6.6576 - 0.1V_0 - 0.5 \lg R \pi,$$

где радиус звезды  $R$  выражен в км,  $\pi$  — тригонометрический параллакс.

Точность метода оценивается в  $0.2^m$ . На основе исследования физических характеристик 228 звезд получены улучшенные зависимости  $F_V$  от нормальных показателей цвета звезд  $(B-V)_0$  и  $(V-R)_0$  [4]. Мы использовали эти результаты для определения  $F_V$  горячего компонента IQ Cas и оценили расстояние, выразив радиус звезды в солнечных единицах, а удаленность — в парсеках:

$$F_V = 3.7369 - 0.1V_0 - 0.5 \lg R/R_\odot.$$

Подстановка данных в эту формулу приводит к величине  $m - M = 11.6^m$ . Таким образом, обе независимые оценки расстояния до IQ Cas дали близкий результат. Модуль расстояния двойного скопления  $h$  и  $\chi$  Персея равен  $m - M = 11.7^m$  [6]. Учитывая, что средневесовое значение модуля расстояния ТДС  $\langle m - M \rangle = 11.8^m$ , можно рассматривать IQ Cas как вероятный член спирального рукава в Персее. Отметим, что избыток цвета горячей звезды IQ Cas ( $E_{B-V} = 0.65^m$ ) мало отличается от среднего избытка цвета членов двойного скопления Персея ( $E_{B-V} = 0.57^m$  [5]).

CS ПЕРСЕЯ

Несмотря на многолетние наблюдения CS Per, нам не удалось получить ее полной кривой блеска. Основная причина связана с большим орбитальным периодом ( $P \approx 24.2^d$ ). К тому же оказалось, что главный минимум наступает почти на 1.4 сут позже расчетного времени. Однако полученные кривые блеска звезды позволили анализировать их программой Лаврова [15] и получить ЭФО. Затмения в минимумах продолжаются в течение  $0.06^p$ , что немного больше фотографической величины (см. табл. 1). Наилучшее решение кривой блеска было получено в фильтре  $V$ , а при решении других кривых нам пришлось фиксировать отношение радиусов компонентов. На рис. 4 показаны кривые блеска переменной в  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R$ -полосах. Видно, что на всех кривых блеска наблюдается сильный эффект фазы. Разложение внезатменной части кривой блеска в ряд Фурье показало, что это в основном эффект эллипсоидальности компонентов, который увеличивается с увеличением длины волны ( $A_2 = -0.0245 \pm 0.0063$  в  $U$ ,  $-0.0408 \pm 0.0015$  в  $B$ ,  $-0.0625 \pm 0.0018$  в  $V$ , и  $-0.0848 \pm 0.0021$  в  $R$ -полосе). Эффект отражения проявился только в красных лучах ( $A_1 = 0.0104 \pm 0.0019$ ). В главном минимуме затмевается малый, но яркий компонент в  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R$ -лучах (гипотеза  $B \rightarrow M$ ) и происходит частное затмение ( $p_0 > -1$ ). Поиск ЭФО в  $U$ -лучах дал малое значение отношения  $k$  радиусов компонентов (ЭФО сильно отличаются от элементов в других цветах), поэтому мы приняли значение  $k$  усредненное по  $B$ ,  $V$ ,  $R$ -лучам. Результаты решения кривых блеска даны в табл. 9. Значение угла наклона оказалось меньшим, а блеск горячего компонента в синих лучах — большим, чем в работе [20]. В шестой графе таблицы даны усредненные геометрические ЭФО, а в последней строке — средние квадратичные ошибки отклонения нормальных точек от теоретической кривой блеска. На рис. 5 показан главный минимум ТДС в  $V$ -лучах и соответствующая теоретическая кривая блеска.

В табл. 10 находятся фотометрические величины каждого компонента CS Per, вычисленные с учетом эффекта взаимного освещения компонентов. На двухцветных диаграммах рис. 2 более горячий компонент дважды пересекает стандартные кривые: в точке F5 (избыток цвета  $E_{B-V} = 0.00^m$ ) и B7 ( $E_{B-V} =$

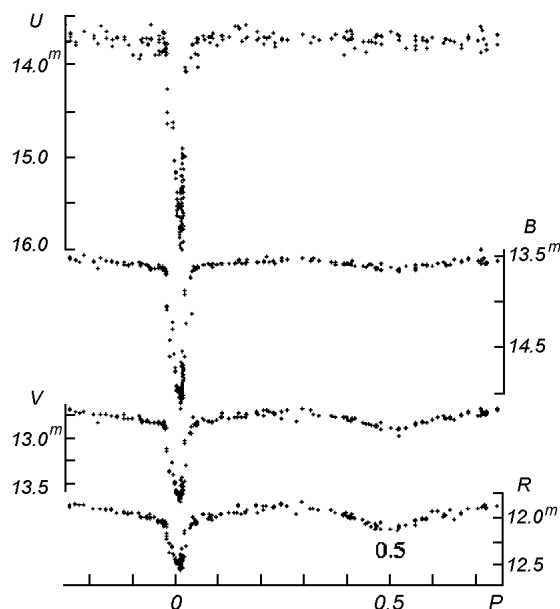


Рис. 4. Кривые блеска затменной переменной CS Per

Рис. 5. Сравнение теоретической кривой блеска CS Per в главном минимуме с наблюдениями в фильтре V

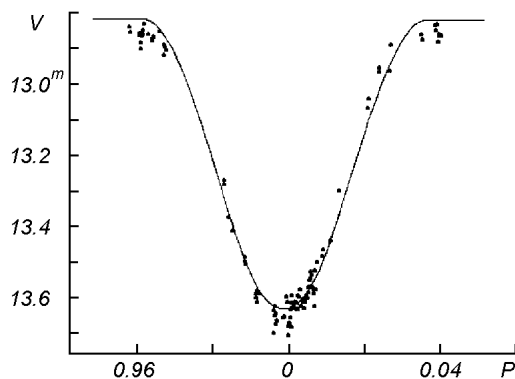


Таблица 9. Элементы фотометрической орбиты CS Per

Полоса	$a_c$	$b_c$	$a_h$	$b_h$	$x_h$	$x_c$	$i$	$L_c/(L_c+L_h)$	$\varepsilon$
U	0.180	0.175	0.065	0.064	0.60	0.80	83.0	$0.142 \pm 0.026$	0.015
B	0.167	0.161	0.074	0.071	0.60	0.75	84.2	$0.261 \pm 0.020$	0.006
V	0.177	0.168	0.068	0.064	0.50	0.60	83.2	$0.453 \pm 0.021$	0.002
R	0.190	0.176	0.052	0.049	0.40	0.50	82.1	$0.656 \pm 0.019$	0.004
$\langle UBV \rangle$	0.178	0.170	0.065	0.062	—	—	83.1	—	—
	$\pm 0.006$	$\pm 0.003$	$\pm 0.005$	$\pm 0.005$	—	—	$\pm 0.4$	—	—
[20]	0.175	—	0.055	—	—	—	$\geq 87$	0.6	—

Таблица 10. Фотометрические величины CS Per

Компонент	V	U-B	B-V	V-R
Горячий	$13.39 \pm 0.04^m$	$0.00 \pm 0.01^m$	$0.47 \pm 0.05^m$	$0.39 \pm 0.07^m$
Холодный	$13.60 \pm 0.05$	$0.83 \pm 0.20$	$1.41 \pm 0.09$	$1.26 \pm 0.06$

=  $0.57^m$ ). Из-за большой неопределенности показателя цвета  $U - B$  холодного компонента, спектр звезды оценивается с большой ошибкой в пределах G0—G2 ( $E_{B-v} = 0.68^m$ ), что хорошо согласуется со спектральной классификацией CS Per [32]. Для интерпретации полученных результатов мы попытались оценить абсолютные параметры звезд на диаграмме Г—Р, построенной для одиночных звезд, эволюционирующих как к НГП [41], так и уходящих от нее [29]. На треках звезд, построенных в [41], холодный компонент оказался за линией рождения звезд, поэтому мы рассмотрели треки звезд, уходящих от НГП. Как было получено выше, горячий компонент может быть F- или V-звездой. Интерпретация результатов в предположении спектра горячей звезды F встретила трудности (большая разность избытка цвета  $E_{B-v}$  компонентов, значительные отличия звездных величин: наблюдаемая разность  $\Delta V_{obs} = 0.2^m$  (табл. 10), а вычисленная —  $\Delta V_{cal} = -1.6^m$ ). Мы отдали предпочтение спектру B7. Из анализа имеющихся данных о компонентах на теоретической диаграмме Г—Р был определен взаимосогласованный набор абсолютных параметров звезд (табл. 11).

На первый взгляд, полученный результат как будто противоречит наблюдениям: почему наблюдается спектр более слабого по блеску компонента, а не яркого? Из табл. 10 видно, что визуальные звездные величины мало отличаются друг от друга. Можно было ожидать наличия в спектре

Таблица 11. Ожидаемые абсолютные параметры CS Per

Параметр	Горячий компонент		Холодный компонент	
	Настоящая работа	[20]	Настоящая работа	[20]
$M/M_{\odot}$	4.0	1.95	3.1	0.27
$R/R_{\odot}$	4.3	2.5	11.8	8.0
$M_{\text{bol}}$	-1.9	1.2	-0.7	0.3
$Sp$	B7 III-II	A4	G0 III-II	G0 IV

звезды линий обоих компонентов. Для объяснения этого феномена мы предполагаем, что горячий В-компонент имеет быстрое осевое вращение, подобно В-звездам, вследствие чего его линии расширены и не видны на фоне общего непрерывного спектра двух звезд. Холодный компонент вращается медленно (возможно даже, что периоды осевого и орбитального вращения совпадают), и его линии, как у звезд-гигантов поздних спектральных классов, очень узкие и резкие. По этой причине они хорошо видны в спектре ТДС.

На рис. 3, а показаны положения звезд на диаграмме Г—Р, построенной по расчетам [29]. Оба компонента лежат немного выше ветви гигантов. Возраст горячего компонента  $10^8$  лет, а холодного —  $3 \cdot 10^8$  лет. Радиус маломассивной G-звезды больше, чем горячей В-звезды, что можно объяснить в рамках гипотезы обмена масс, которой произошел раньше, когда G-звезда, будучи более массивной, переполнила свою полость Роша. Воз-

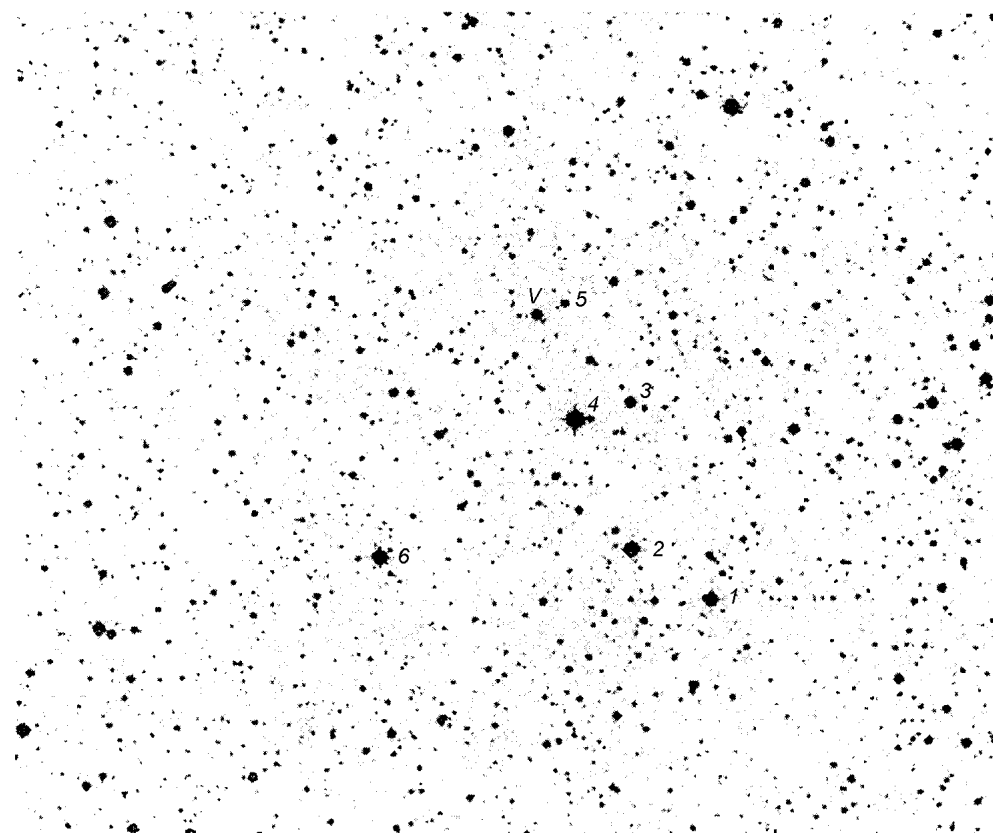


Рис. 6. Карта окрестностей CS Per. Поле  $8' \times 8'$

Таблица 12. Результаты фотометрии звезд в окрестностях CS Per

Номер звезды	V	U-V	B-V	V-R
1*	11.440±0.006	0.012±0.004	0.478±0.005	0.439±0.004
2	11.256	0.472	0.794	0.692
3	12.734	0.202	0.784	0.665
4*	10.535±0.001	1.600±0.030	0.551±0.004	1.183±0.001
5	14.553	0.54	1.096	0.751
6	10.707	0.298	0.386	0.323

Номер звезды	I пересечение			II пересечение			III пересечение		
	Sp	E <sub>B-V</sub>	m - M	Sp	E <sub>B-V</sub>	m - M	Sp	E <sub>B-V</sub>	m - M
1*	F6	0.00	7.3	B7	0.61	10.9	—	—	—
2	A8.5	0.55	7.1	B9	0.87	7.9	—	—	—
3	F8	0.25	7.8	B6.5	0.91	10.1	—	—	—
4*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	G8	0.32	8.1	F2	0.72	9.1	B8	1.17	10.6
6	A3	0.29	8.3	A0	0.41	8.6	—	—	—

1\* — звезда сравнения, 4\* — контрольная звезда

можно, сейчас ее гелиевое ядро находится на стадии сжатия (случай В [16]). В ходе расширения G-звезда могла потерять значительную массу и сильно сместиться вниз на диаграмме Г—Р.

Отношение масс компонентов  $q = 0.78$ , что определяет их критические радиусы  $r_{cr,h} = 0.397$  и  $r_{cr,c} = 0.352$ . Обе звезды не выходят за пределы размеров полостей Роша.

Оценим модуль расстояния ТДС по той же схеме, что было сделано выше для IQ Cas, используя данные горячего компонента CS Per. Методом спектрального параллакса получим модуль расстояния  $m - M = 12.6 \pm 0.7^m$ . Здесь учтена ошибка космической дисперсии абсолютных величин В-звезд [17] и точность определения спектрального класса звезд на двухцветной диаграмме  $(U - B) - (B - V)$  [1]. По зависимости Барнса — Эванса модуль расстояния ТДС  $m - M = 12.1 \pm 0.2^m$ . Избыток цвета горячего компонента ( $E_{B-V} = 0.57^m$ ) такой же, как у членов двойного скопления  $\eta$  и  $\chi$  Персея [5]. Совокупность этих данных, с учетом возраста звезд, позволяет нам предположить, что CS Per является физическим членом спирального рукава Галактики в Персее.

В окрестностях CS Per наблюдается группа звезд, которые хорошо выделяются на фоне слабых звезд (рис. 6). Мы провели *UBVR*-фотометрию этих звезд с целью поиска возможной физической группировки. В табл. 12 даны результаты фотометрии. По линии нарастающего покраснения звезды пересекают стандартные линии более одного раза (рис. 2). Исключением является звезда 6, которая вообще не пересекает ни одной линии. Оценка модуля расстояния по стандартной методике показывает, что при первом пересечении все пять звезд могут быть в рассеянном скоплении Stock-2 ( $m - M = 7.4^m$  [30]). При втором пересечении звезды 1, 3, а при третьем — звезда 5 оказываются на удалении двойного скопления  $\eta$  и  $\chi$  Персея.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получены многоцветные кривые блеска IQ Cas и долгопериодической переменной CS Per. Определены новые моменты минимумов и уточнены эфемериды главных минимумов. Кривые блеска решены прямым мето-

дом Лаврова и получены ЭФО. Вычислены звездные величины и цвета каждого компонента, а также оценены абсолютные характеристики компонентов. Обсужден эволюционный статус изученных ТДС. Возраст горячего компонента IQ Cas составляет  $3 \cdot 10^7$  лет, а холодного —  $2 \cdot 10^6$  лет. Предполагается, что оба компонента CS Per находятся на стадии эволюции после ухода с ГП, и в ТДС закончился первичный обмен масс. IQ Cas и CS Per отнесены к вероятным членам спирального рукава Галактики в Персее.

Автор благодарен рецензенту за конструктивные и ценные замечания, которые способствовали улучшению статьи.

1. *Белякина Т. С., Чугайнов П. Ф.* О точности определения спектральных классов и избытков цвета звезд O—A2 с помощью метода двухцветных диаграмм // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1960.—22.—С. 257—274.
2. *Боцула Р. А.* Нестационарные явления в затменных двойных разделенных системах главной последовательности // Перемен. звезды.—1988.—22, № 7.—С. 707—734.
3. *Витриченко Э. А.* Возможный механизм образования «плечей» у затменных переменных звезд // Письма в Астрон. журн.—1995.—21, № 7.—С. 518—522.
4. *Губочкин А. Н., Мирошниченко А. С.* Метод поверхностной яркости и зависимости болометрической поправки от эффективной температуры // Кинематика и физика небес. тел.—1991.—7, № 1.—С. 64—71.
5. *Дамбис А. К.* Пространственно—возрастное распределение молодых рассеянных скоплений и наблюдательная выборка // Письма в Астрон. журн.—1999.—25, № 1.—С. 10—17.
6. *Дамбис А. К., Мельник А. М., Расторгуев А. С.* Тригонометрические параллаксы и кинематически согласованная шкала расстояний до 0В—ассоциаций // Письма в Астрон. журн.—2001.—27, № 1.—С. 68—75.
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.* Затменные переменные в площадке № 1 программы «Млечный Путь» // Кинематика и физика небес. тел.—1990.—6, № 3.—С. 18—21.
9. *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.
10. *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.
11. *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.
12. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в областях звездообразования. VZ Mop в 0В-ассоциации Mop 0B2 // Письма в Астрон. журн.—2001.—27, № 8.—С. 632—640.
13. *Закиров М. М.* Тесные двойные системы в рукаве Персея. II. DN Cas // Кинематика и физика небес. тел.—2001.—17, № 4.—С. 313—325.
14. *Закиров М. М., Азимов А. А.* Тесные двойные системы в рукаве Персея. I. HS Per // Кинематика и физика небес. тел.—1993.—9, № 2.—С. 82—88.
15. *Лавров М. И.* Комплекс программы на языке «Бейсик» для анализа кривых блеска затменных двойных систем // Тр. Казан. гор. астрон. обсерватории.—1993.—№ 53.—С. 34—47.
16. *Масевич А. Г., Тутуков А. В.* Эволюция звезд: теория и наблюдения. — М.: Наука, 1988.—280 с.
17. *Мдзинаришвили Т. Г.* Задача определения функции пространственной плотности звезд по данным каталогов BV—фотометрии и МК—классификации // Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории.—1985.—№ 59.—С. 117—124.
18. *Рубашевский А. М.* Законы потемнения к краю в фотометрических системах UBVR и uvby // Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории.—1985.—№ 58.—С. 389—408.
19. *Свечников М. А., Кузнецова Э. Ф.* Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд. — Свердловск: Урал. гос. ун—т, 1990.—Т. 1.—224 с.
20. *Свечников М. А., Кузнецова Э. Ф.* Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд. — Свердловск: Урал. гос. ун—т, 1990.—Т. 2.—232 с.
21. *Страйжис В.* Многоцветная фотометрия звезд. — Вильнюс: Моклас, 1977.—312 с.
22. *Страйжис В.* Звезды с дефицитом металлов. — Вильнюс: Моклас, 1982.—312 с.
23. *Харди Х.* Редукция фотоэлектрических наблюдений // Методы астрономии / Под ред. В. А. Хилтнера. — М.: Мир, 1965.—С. 157—183.

24. *Barnes T. G., Evans D. S.* Stellar angular diameters and visual surface brightness. I // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1976.—**174**, N 2.—P. 489—502.
25. *Barnes T. G., Evans D. S., Parsons S. B.* Stellar angular diameters and visual surface brightness. II // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1976.—**174**, N 2.—P. 502—512.
26. *Barnes T. G., Evans D. S., Parsons S. B.* Stellar angular diameters and visual surface brightness. III // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1978.—**183**, N 2.—P. 285—304.
27. *Bonnel I., Bastion P.* Fragmentation of elongated cylindrical clouds. VI. Comparison with observations // *Astrophys. J.*—1993.—**406**, N 2.—P. 614—628.
28. *Brancewicz H. K., Dworak T. Z.* A catalogue of parameters for eclipsing binaries // *Acta astron.*—1980.—N 3.—P. 501—524.
29. *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. and Astrophys. Sup. Ser.*—1994.—**104**, N 2.—P. 365—376.
30. *Foster D. C., Theissen A., Butler C. J., et al.* CCD photometry and proper motions of late-type stars in the young open cluster Stock-2 // *Astron. and Astrophys.*—2000.—**143**, N 3.—P. 409—420.
31. *Gaposhkin S.* Masses, radii, and other absolute dimensions for 224 eclipsing variables // *Proc. American Philosoph. Soc.*—1940.—**82**, N 3.—P. 291—322.
32. *Halbedel E. M.* Spectral types of eclipsing binaries in optical coincidence with clusters and associations // *Inform. Bull. Var. Stars.*—1984.—N 2550.—P. 1—2.
33. *Hartingen P., Strom K. M., Strom S. E.* Are wide pre-main-sequence binary coeval? // *Astrophys. J.*—1994.—**427**, N 2.—P. 961—977.
34. *Hoffmeister C.* 238 neue Veränderliche // *Erganzun. Astron. Nachr.*—1940.—**10**, N 2.—S. 1—7.
35. *Hoffmeister C.* 213 neue Veränderliche // *Astron. Nachr.*—1943.—**274**—S. 36—40.
36. *Hoffmeister C.* Die veränderlichen Sterne der nördlichen Milchstrasse Teil IV // *Veröff. Stern. Sonnenberg.*—1947.—**1**, N 2.—S. 47—117.
37. *Kinnunet T., Skiff B. A.* Coordinates and identifications for Sonnenberg variables on MVS 275-281 // *Inform. Bull. Var. Stars.*—2000.—N 4878.—P. 1—7.
38. *Lacy C. H.* Distances to eclipsing binaries: An application of the Barnes—Evans relation // *Astrophys. J.*—1977.—**213**, N 2.—P. 458—463.
39. *Landolt A. U.* UBVR photoelectric standard stars around the celestial equator // *Astron. J.*—1983.—**88**, N 3.—P. 439—460.
40. *Mendoza E. E. V.* Multicolor photometry of stellar aggregates // *Bol. observ. Tonantzintla y Tacubaya.*—1967.—**4**, N 29.—P. 149—196.
41. *Palla F., Staller S. W.* The pre-main sequence evolution of intermediate stars // *Astrophys. J.*—1993.—**418**, N 2.—P. 414—424.
42. *Plavec M., Kratochvil P.* Tables for the Roche model of close binaries // *Bull. Astron. Inst. Czech.*—1964.—**15**, N 5.—P. 165—170.
43. *Popova M., Kraicheva Z.* Catalogue of eclipsing and spectroscopic binary in the regions of open clusters // *Изв. Спец. астрофиз. обсерватории. Астрофиз. исслед.*—1984.—**18**—С. 64—89.
44. *Popper D. M.* Stellar masses // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1980.—**18**—P. 115—164.
45. *Sahade J., Davila F. R.* Eclipsing variables in galactic clusters // *Ann. d'Astrophys.*—1963.—**26**, N 2.—P. 153—158.
46. *Wood B. D., Forbes I. E.* Ephemerides of eclipsing stars // *Astron. J.*—1963.—**68**, N 4.—P. 257—269.

Поступила в редакцию 04.10.01