

ИССЛЕДОВАНИЕ (O—C)-ДИАГРАММЫ ЗАТМЕННО-ДВОЙНОЙ ТИПА ВОЛЬФА—РАЙЕ CQ CEP

Т. А. Карташева, М. А. Свечников

Проанализированы результаты предыдущих исследований поведения периода CQ Cep. Кратко рассмотрены четыре этапа исследования авторами (O—C)-диаграммы системы. Подробно изложен последний из них. Его основные результаты: 1) в системе происходит движение линии апсид с периодом $U \approx 54$ года ($e=0.02$); 2) моменты обоих минимумов, а следовательно, (O—C₁)- и (O—C₂)-уклонения искажены общей оболочкой, дающей значительный вклад в излучение в непрерывном спектре; (O—C₂)-уклонения дополнительно искажены поглощением плотными частями оболочки, расположенными между звездами; 3) период системы испытывает вековое изменение, скорость которого непостоянна и по величине, и по знаку; кроме того, в 1969 г. произошло скачкообразное уменьшение орбитального периода CQ Cep на 0^d00002 .

Анализ полученных результатов показывает, что наряду с радиальным истечением материи из WR-компонента ($\dot{m}'_{WR} \approx 0.2 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год}$ в системе до ~ 1970 г. существовал поток из O-компонента, сменившийся затем потоком из WR-звезды.

The results of the previous investigations of CQ Cep period behaviour have been analysed. Four stages of the investigations of the (O—C)-diagram are considered briefly. The last one is described in detail. The main results are the followings: 1) the motion of apsis line with a period of $U=54$ years is observed in the system ($e=0.02$); 2) the moments of both minima and therefore (O—C₁) and (O—C₂)-deviations are distorted by the common envelope, giving the essential contribution into the continuum; (O—C₂)-deviations are additionally distorted by the absorption of dense parts of the envelope, arranged between the stars; 3) the system period suffers secular variations with an inconstant speed both in value and sign; besides in 1969 the CQ Cep period suffered a sudden decrease by 0^d00002 . The analysis of obtained results shows that parallel with the radial matter outflow from WR-component ($\dot{m}'_{WR} \approx 0.2 \cdot 10^{-5} m_{\odot} \cdot \text{yr}^{-1}$) there was a flow from O-component in the system up to ~ 1970 , that was later changed by the flow from the WR-star.

Поскольку в настоящее время существуют разногласия в интерпретации (O—C)-диаграммы CQ Cep, авторы нашли необходимым проанализировать результаты всех предшествующих исследований.

Впервые вопрос об изменении орбитального периода CQ Cep был поставлен Гапошкиным [1]. На основании изучения гарвардских патрульных пластинок 1901—1942 гг. он пришел к выводу, что период системы быстро укорачивается. Отмеченное уменьшение периода Гапошкин связывал скорее с действием третьего тела, нежели с движением линии апсид, так как ход со временем диаграмм (O—C) для главного и вторичного минимумов был в целом идентичен.

В 1954 г. Свечников [2], дополнив список наблюдаемых моментов минимумов системы своими наблюдениями, наблюдениями Хилтнера [3] и Домбровского [4], отметил, что на основной ход (O—C₁)- и (O—C₂)-диаграмм накладывается колебание малой амплитуды, в котором главный и вторичный минимумы смещаются в разные стороны.

В 1968 г. Семенюк [5] вновь обратилась к рассмотрению графика (O—C) CQ Cep, дополненного результатами фотоэлектрических наблюдений. Основным ее выводом состоял в том, что на протяжении около 20 лет (1947—1965) период системы оставался практически неизменным, в то время как в начале века он заметно укорачивался. Итак, впервые было обращено внимание на тот факт, что (O—C)-диаграмма не поддается единой интерпретации.

В 1979 г. Курочкин [6], измерив около 600 пластинок фототеки ГАИШа, относящихся в основном к первой половине века, получил ряд новых моментов минимумов CQ Cep. Дополнив их прежними данными ряда авторов, он выпол-

нил исследование поведения периода системы. Неполнота привлеченного им материала не позволила Курочкину дать верную интерпретацию основного хода (O—C)-разностей. Однако вслед за Свечниковым он обратил внимание на существование небольшого циклического колебания на (O—C)-диаграмме.

В 1982 г. Антохина и др. [7] вновь вернулись к вопросу о поведении периода CQ Сер. Основная новизна их исследования заключалась в вычислении (O—C)-разностей путем использования модифицированного метода Герцшпрунга (использования некоторой «стандартной кривой блеска»). Насколько эффективным оказался этот метод определения разностей (O—C), по сравнению с применяемым обычно методом Погсона, из работы [7] не ясно. Однако уже само применение метода Герцшпрунга к кривой блеска CQ Сер, форма которой испытывает значительные изменения со временем [8], представляется неправомерным. С другой стороны, привлечение к исследованию непосредственно кривых блеска очень сузило список используемых авторами моментов минимумов. Особенно это сказалось на интервале 1901—1942 гг., для которого Гапошкин дал 30 оценок (O—C)-уклонений и лишь одну (среднюю) кривую блеска. Все используемые в работе [7] (O—C)-уклонения были представлены одной параболой, давшей скорость векового уменьшения орбитального периода $\dot{P} = -10^{-9}$ дней за период или $-2.2 \cdot 10^{-7}$ дней за год. Впервые вековое уменьшение орбитального периода системы было объяснено перетеканием массы от одного компонента к другому. Однако вывод авторов о том, что перетекание вещества идет от WR-звезды к O-компоненту, был неверен, так как основывался на неправильном («перевернутом») отношении масс компонентов ($m_{WR} > m_0$), полученном Немелой [9] (см. также [10, 11]).

Следующий шаг в исследовании поведения периода CQ Сер был сделан Уокером и др. [12]. Совершенно справедливо заявив о невозможности представления (O—C)-уклонений первой и второй половины века одной прямой или одной параболой и о том, что около 50 лет назад (т. е. в 30-е годы) в поведении системы произошли какие-то изменения, авторы ограничивались, однако, интерпретацией лишь (O—C)-уклонений, полученных после 1937 г. Основной их вывод состоял в том, что за последние 45 лет период системы в среднем не испытывал существенных изменений ($\dot{P} = 1.6412436$), однако в пределах точности определения допустимо вековое уменьшение периода $\dot{P} = -0.15 \cdot 10^{-9}$ дней за период $= -0.3 \cdot 10^{-7}$ дней за год.

В 1983 г. одновременно с работой Уокера и др. [12] вышла работа Крайнера и Тремко [13], а два года спустя вторая их работа [14], представляющая собой развитие предыдущей. Как и авторы упомянутого выше исследования [12], Крайнер и Тремко уделили большое внимание изучению нестабильности формы кривой блеска CQ Сер в главном минимуме и влиянию переменной степени его асимметрии на определение моментов главного минимума. Далее, они отдельно интерпретировали область (O—C)-диаграммы до и после 1937 г., соответственно параболой с коэффициентом при E^2 , т. е. $\dot{P} = -4.0 \cdot 10^{-9}$ дней за период $= 8.9 \times 10^{-7}$ дней за год, и прямой, тем самым ставя под сомнение вековое изменение орбитального периода системы после 1937 г. Опираясь на отношение масс компонентов, определенное Немелой [9] ($m_{WR}/m_0 \approx 1.2$), авторы объяснили изменение в поведении периода CQ Сер тем, что до 1937 г. в системе преобладал процесс переноса массы от WR-компонента к O-звезде; после 1937 г. этот процесс сбалансировался с процессами, ведущими к увеличению периода системы.

В следующей своей работе [14] Крайнер и Тремко, расширив список минимумов за счет своих новых наблюдений и наблюдений Уокера и др. [12], попытались проанализировать, как изменяется скорость векового изменения периода системы на отдельных временных интервалах. И хотя деление на временные интервалы было довольно произвольным и неоднозначным, авторы работы [14] пришли к правильному выводу о непостоянстве темпа векового изменения периода CQ Сер. Знакомые к этому времени с результатами наших спектроскопических исследований системы [10, 11] Крайнер и Тремко затруднились дать интерпретацию обнаруженному ими явлению, совместимую с $q = m_{WR}/m_0 < 1$.

Несмотря на понимание многими исследователями того факта, что около-

звездная газовая среда вносит существенные искажения в кривые блеска, а следовательно, и в моменты минимумов системы, ни в одной из рассмотренных работ не было сделано попытки учесть эти искажения при исследовании (O—C)-диаграммы, что не позволило в итоге дать верную интерпретацию последней.

Авторы настоящей работы, в течение нескольких десятилетий следившие за поведением блеска CQ Сер, одновременно делали неоднократные попытки разобраться в характере изменения периода этой системы. Долгое время определенные выводы не могли быть получены из-за скудности наблюдательного материала. Первое более или менее завершённое исследование поведения периода CQ Сер (к сожалению, неопубликованное) было сделано нами в 1974 г. Сравнительно малый по времени промежуток наблюдений системы не позволял (да и сейчас не позволяет) решить, представляет ли в целом кривая (O—C) системы отрезок синусоиды, т. е. основной ее ход обусловлен движением звезды по долгопериодической орбите тройной системы с периодом $P' \geq 150$ лет, или это парабола, т. е. отражение векового изменения орбитального периода CQ Сер, связанного с перераспределением массы внутри системы и/или с потерей массы системой в целом.

До сих пор всеми исследователями предпочтение отдается второй интерпретации основного хода (O—C)-диаграммы, кажущейся весьма вероятной, так как система очень тесная и имеются прямые наблюдательные свидетельства существования в ней околозвездной газовой среды.

Итак, в 1974 г. (O—C)-диаграмма CQ Сер, использующая только моменты главного минимума, была представлена параболой, показавшей, что орбитальный период системы уменьшается на $1.24 \cdot 10^{-9}$ дней за период или на 3.0×10^{-7} дней за год. Кривая остаточных уклонений (O—C)*, полученная после исключения векового хода периода системы, была по традиции подвергнута численному дифференцированию. Так были выявлены скачкообразные изменения периода CQ Сер, интерпретируемые нами как отдельные, несимметричные относительно линии центров выбросы материи из менее массивной WR-звезды, налагающиеся на вековое уменьшение орбитального периода системы, которое мы связывали с перетеканием вещества от более массивной O-звезды к WR-компоненту.

Появление в 1983 г. работ Уокера и др. [12], Крайнера и Тремко [13], в которых авторы обратили внимание на переменность асимметрии ветвей главного минимума от ночи к ночи и показали, к каким значительным ошибкам в определении отдельных моментов минимумов это приводит ($\Delta T_{\min} \geq 12^m \approx 0^d008$ [12]), заставило нас задуматься над интерпретацией остаточных уклонений (O—C)*.

К исследованию поведения орбитального периода системы мы попытались подключить и наблюдаемые моменты вторичного минимума (O—C₂), пока через рассмотрение разностной (O—C₂) — (O—C₁)-диаграммы:

$$(O - C_2) - (O - C_1) = T_2 - T_1 - P/2,$$

где T_1 и T_2 — моменты главного и вторичного минимумов.

Сложная форма разностной диаграммы и значительная амплитуда изменения значений (O—C₂) — (O—C₁) (с $+0^d05$ до -0^d03) привели нас к заключению о значительном искажении положения моментов главного и вторичного минимумов (или по крайней мере одного из них) околозвездной газовой средой. Этот вывод не противоречил результатам работ [12] и [13], хотя речь шла уже об иных временных интервалах (о десятилетиях), а отсюда и об иной величине искажений.

Кроме того, возникло естественное желание сопоставить эволюцию формы кривой блеска CQ Сер с ходом (O—C₁) и разностной (O—C₂) — (O—C₁)-диаграмм. Это сопоставление оказалось очень плодотворным и привело нас к заключению о существовании в «жизни» системы аномального периода (1936—1949 гг.) — периода ее повышенной активности [8].

Более внимательное рассмотрение (O—C₁)- и (O—C₂)-диаграмм показало, что они распадаются на две ветви до и две ветви после аномального периода.

Дополнительный анализ результатов наблюдений 1969 г. [15] показал, что образование последней из ветвей на (O—C)-диаграммах произошло после

вспышки, отнаблюденной нами в конце марта 1969 г., и за весьма короткий промежуток времени ($\Delta t \leq 1$ мес).

Итогом привлечения дополнительных фактов и переосмысливания прежнего наблюдательного материала явился новый вариант интерпретации (O—C₁)-диаграммы CQ Сер. Диаграмма представлялась двумя параболоми (до и после аномального интервала), давшими две скорости векового уменьшения периода ($\dot{P}_I = -5.4 \cdot 10^{-9}$ дней за период = $-11.7 \cdot 10^{-7}$ дней за год и $\dot{P}_{II} = -0.9 \cdot 10^{-9}$ дней за период = $-2.0 \cdot 10^{-7}$ дней за год). Остаточные же отклонения (O—C)*, содержащие четыре ветви (аномальной период исключался из рассмотрения), интерпретировались как обусловленные искажением моментов минимумов околозвездной газовой средой, искажающее воздействие которой изменялось как плавно, так и скачками вследствие выбросов материи из компонентов системы.

Эти результаты были доложены на семинаре «Образование газовых потоков в тесных двойных звездах» в Тыравере (октябрь 1985 г.).

Два рассмотренных выше варианта интерпретации (O—C)-диаграммы CQ Сер объединял общий подход — выделялся основной вековой ход периода системы, ход же остаточных (O—C)*-уклонений рассматривался как нечто дополнительное, налагающееся на этот основной ход. При этом остаточным (O—C)*-диаграммам в двух рассмотренных вариантах исследования давались крайние интерпретации, хотя само существование хода на этих диаграммах объяснялось одним и тем же феноменом — выбросами материи. Именно эта невозможность одновременного привлечения к интерпретации остаточных (O—C)*-диаграмм обоих следствий выбросов (и дополнительных скачков периода, и изменений в искажающем влиянии на моменты минимумов околозвездной газовой среды) заставило авторов искать новые пути исследования (O—C)-диаграммы.

Следующим нашим шагом в изучении поведения периода CQ Сер было обнаружение того, что разностная диаграмма, если исключить значения (O—C₂) — (O—C₁), относящиеся к аномальному периоду, хорошо представляется наклонной косинусоидой. Это свидетельствовало о том, что в системе действительно происходит движение линии апсид (заподозренное Свечниковым еще в 1954 г.), налагающееся на линейный ход разности (O—C₂) — (O—C₁).

«Очищение» (O—C₁)- и (O—C₂)-диаграмм от этих двух эффектов позволило в дальнейшем перейти к совместному исследованию (O—C₁)_{испр}- и (O—C₂)_{испр}-диаграмм. Объединение (O—C₁)_{испр}- и (O—C₂)_{испр}-диаграмм дало возможность еще четче выделить две ветви до и две ветви после аномального периода. Это дробление (O—C)-диаграммы на отдельные ветви также поставило вопрос о коренном изменении подхода к ее интерпретации.

В 1986 г. был выполнен вариант исследования (O—C)_{испр}-диаграммы, которому предшествовала процедура «подтягивания» ветвей: 2-й к 1-й — до аномального периода и 4-й к 3-й — после него. Процедура выглядела довольно естественной и существенно упрощала интерпретацию (O—C)_{испр}-диаграммы. Остаточные (O—C)*-уклонения, получаемые после учета векового изменения периода системы, имели разброс, хорошо согласующийся с ошибками определения моментов минимумов CQ Сер. (см. [12, 13]). Вся трудность переносилась на объяснение причин «сбоя нуля-пункта» хода (O—C)_{испр}-диаграмм, устраняемого «подтягиванием» ветвей. Приемлемым в принципе объяснением этого явления могли быть значительные кратковременные изменения орбитального периода системы ($\Delta P \approx 0.001$) с быстрым последующим его восстановлением.

Этот вариант интерпретации (O—C)_{испр}-диаграммы был доложен на совещании «Звезды типа Вольфа—Райе и родственные им объекты» в Эльве (октябрь 1986 г.). Краткое изложение доклада публикуется в материалах этого совещания [8].

Наконец, последний и, как нам кажется, наиболее точно отражающий истинную ситуацию в системе вариант интерпретации (O—C)-диаграммы был выполнен авторами в начале 1987 г. и будет подробно описан ниже. Коренное отличие его от более ранних вариантов состоит в том, что вся (O—C)_{испр}-диаграмма рассматривается состоящей из абсолютно самостоятельных кусков (ветвей), каждый из которых имеет свой нуль-пункт, от которого и ведется отсчет циклов.

ТАБЛИЦА 1

№ п/п	Число циклов E	Год	T _{min} (J. D. ☉)	Ошибка	O - C	(O-C ₂) - (O-C ₁)	Ссылки, примечания
1	2	3	4	5	6	7	8
		1900+	2400000+				
1	0.0	1.32	15500.780	±0.003	0.000		Гапошкин [1], pg, 59 т.
2	0.5		15501.647	±0.002	+0.046	+0.046	То же
3	609.0	4.06	16500.361	±0.002	+0.015		» » , 146 т.
4	609.5		16501.201	±0.004	+0.034	+0.019	» »
5	609.0	4.06	16500.343	±0.015	-0.003		Курочкин [6], pg, 30 т.
6	609.5		16501.197	±0.020	+0.030	+0.033	То же
7	1219.0	6.08	17501.527	±0.002	-0.026		Гапошкин [1], pg, 145 т.
8	1219.5		17502.391	±0.002	+0.018	+0.043	То же
9	1828.0	9.53	18501.107	0.000	-0.011		» » , 116 т.
10	1828.5		18501.969	±0.004	+0.030	+0.041	» »
11	2437.0	12.27	19500.644	±0.001	-0.040		» » , 57 т.
12	2437.5		19501.512	0.000	+0.007	+0.047	» »
13	3046.0	15.01	20500.193	±0.005	-0.057		» » , 78 т.
14	3046.5		20501.055	±0.004	-0.016	+0.041	» »
15	3656.0	17.75	21501.366	±0.002	-0.091		То же, 124 т.
16	3656.5		21502.239	0.000	-0.039	+0.052	» »
17	4570.0	21.85	23001.441	0.000	-0.185		» » , 232 т.
18	4570.5		23002.296	0.000	-0.151	+0.034	» »
19	5484.0	25.96	24501.585	±0.002	-0.210		» » , 195 т.
20	5484.5		24502.418	0.000	-0.198	+0.012	» »
21	6093.0	28.70	25501.113	±0.002	-0.248		» » , 114 т.
22	6093.5		25501.933	±0.002	-0.249	-0.001	» »
23	6702.0	31.43	26500.631	±0.002	-0.296		» » , 128 т.
24	6702.5		26501.455	±0.004	-0.292	+0.003	» »
25	7311.0	34.17	27500.174	±0.005	-0.318		» » , 86 т.
26	7311.5		27500.993	±0.002	-0.320	-0.002	» »
27	7921.0	36.91	28501.266	±0.005	-0.433		» » , 120 т.
28	7921.5		28502.108	±0.004	-0.412	+0.021	» »
29	8071.0	37.58	28747.474	±0.008	-0.424		Курочкин [6], pg, 145 т.
30	8071.5		28748.322	±0.008	-0.396	+0.028	То же
31	8311.0	38.67	29141.367	±0.010	-0.448		» » , 67 т.
32	8311.5		29142.252	±0.010	-0.384	+0.064	» »
33	8516.0	39.58	29477.807	±0.008	-0.480		» » , 90 т.
34	8530.0	39.65	29500.814	0.000	-0.451		Гапошкин [1], pg, 92 т.
35	8530.5		29501.675	±0.003	-0.411	+0.040	То же
36	9139.0	42.38	30500.319	±0.002	-0.512		» » , 103 т.
37	9139.5		30501.161	±0.002	-0.491	+0.021	» »
38	10331.0	47.74	32456.668		-0.620		Хилтнер [3], e
39	10331.5		32457.516		-0.592	+0.027	То же
40	10985.0	50.68	33530.091		-0.622		Домбровский [4], pg
41	10985.5		33530.903		-0.631	-0.009	То же
42	11529.0	53.12	34422.906	±0.006	-0.687		Ищенко, [16], pg, 250 т.
43	11529.5		34423.743	±0.006	-0.671	+0.016	То же
44	11590.0	53.40	34523.026	±0.008	-0.688		Свечников [2], pg, 140 т.
45	11590.5		34523.851	±0.008	-0.683	+0.005	То же
46	11650.0	53.67	34621.507	±0.020	-0.686		» » , 90 т.
47	11650.5		34622.341	±0.020	-0.673	+0.013	» »
48	12988.0	59.68	36817.474	±0.003	-0.809		Чугайнов [17], e
49	12988.5		36818.307	±0.003	-0.797	+0.012	То же
50	14222.0	65.22	38842.756	±0.005	-0.920		Гузейнзаде [18], e
51	14222.5		38843.593	±0.005	-0.903	+0.016	То же
52	14459.0	66.29	39231.740	±0.006	-0.929		Карташева [19], pg, 230 т.
53	14459.5		39232.581	±0.006	-0.909	+0.021	То же
54	14744.0	67.57	39699.483	±0.003	-0.963		Семенов [5], e
55	15016.0	68.79	40145.898	±0.003	-0.988		Халиуллин [20], e
56	15016.5		40146.727	±0.003	-0.980	+0.008	То же
57	15089.0	69.12	40265.718	±0.003	-0.985		Карташева [15], e
58	15089.5		40266.549	±0.003	-0.974	+0.011	То же
59	15148.0	69.38	40362.570	±0.005	-0.971		» »
60	15654.5	71.66	41193.861	±0.002	-1.010		Майер [21], e
61	15663.0	71.70	41207.820	±0.002	-1.002	-0.008	То же
62	15668.5	71.73	41216.854	±0.002	-0.995		» »
63	15672.0	71.74	41222.598	±0.005	-0.996	0.000	» »
64	15798.0	72.31	41429.380	±0.004	-1.021		Карташева [22], e
65	15798.5		41430.196	±0.004	-1.025	-0.006	То же

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

№ п/п	Число циклов E	Год	T min (J. D. ©)	Ошибка	O—C	$\frac{(O-C_2) - (O-C_1)}{-(O-C_1)}$	Ссылки, примечания
1	2	3	4	5	6	7	8
66	16074.0	73.55	41882.354		-1.052		Чиз и Поп (см. [13]), e
67	16085.0	73.59	41900.410		-1.050		То же
68	16088.0	73.61	41905.333		-1.051		» »
69	16093.0	73.63	41913.536		-1.055		» »
70	16093.5		41914.356		-1.055	-0.002	» »
71	16098.5	73.66	41922.566		-1.052		» »
72	16099.0		41923.390		-1.049	-0.003	» »
73	16110.0	73.71	41941.441		-1.053		» »
74	16327.5	74.68	42298.414		-1.067		» »
75	16367.0	74.86	42363.242		-1.072	+0.001	» »
76	16521.5	75.56	42616.793	±0.003	-1.105		Карташева [23], e
77	16576.0	75.80	42706.249	±0.002	-1.101	-0.008	То же
78	16581.0	75.82	42714.456	±0.002	-1.101		» »
79	16761.0	76.63	43009.871	±0.002	-1.124		Карташева [24], e
80	16761.5		43010.667	±0.002	-1.148	-0.024	То же
81	17470.0	79.82	44173.507	±0.001	-1.186		Крайнер и Тремко, [13], e
82	17537.0	80.12	44283.471	±0.006	-1.190		Стикланд и др. [25], e
83	17537.5		44284.275	±0.006	-1.207	-0.016	То же
84	17683.0	80.78	44523.092	±0.005	-1.203		Автохина и др. [7], e
85	17683.5		44523.905	±0.005	-1.210	-0.008	То же
86	17738.0	81.02	44613.359	±0.004	-1.208		Крайнер и Тремко [13], e
87	17897.0	81.74	44874.319	±0.001	-1.219		То же
88	18008.0	82.24	45056.495	±0.004	-1.230		» »
89	18108.0	82.68	45220.625		-1.232		Уокер и др. [12] (см [14]), e
90	18111.0	82.70	45225.557		-1.224		То же
91	18114.0	82.71	45230.475		-1.230		» »
92	18368.0	83.85	45647.348	±0.004	-1.253		Крайнер и Тремко [14], e
93	18407.0	84.03	45711.353	±0.003	-1.259		То же
94	18532.0	84.59	45916.497	±0.003	-1.281		» »

Такова вкратце логика развития нашего многоэтапного исследования (O—C)-диаграммы CQ Сер.

В своей работе мы исходили из всей известной нам совокупности моментов минимумов CQ Сер, собранных в табл. 1. Часть из них была переопределена (использовался метод Погсона). Значительным изменениям подверглись моменты минимумов, следующие из фотометрии Курочкина [6]. В наших фотометрических исследованиях 1969 г. [15] средние моменты главного и вторичного минимумов были определены отдельно для наблюдений до вспышки (28/29 марта 1969 г.) и наблюдений после нее. Поскольку последних было мало и пришлось они на фазы, прилегающие к элонгациям, то для определения среднего момента главного минимума наблюдений после вспышки был использован метод Герцшпрунга (наблюдения, полученные после вспышки, смещались по фазе до наилучшего совпадения с наблюдениями до вспышки). Грубость проделанной процедуры состояла в молчаливом предположении о неизменности формы кривой блеска CQ Сер до и после вспышки, хотя ближайшие наблюдения мая 1970 г. и января—мая 1972 г., выполненные на том же телескопе, с той же аппаратурой, не опровергли этого предположения.

Поскольку для правильной интерпретации (O—C)-диаграммы CQ Сер очень важна оценка ошибок определения моментов минимумов, то последние приведены в столбце 5 табл. 1. Однако если ошибки определения средних моментов минимумов, определенных из фотоэлектрических кривых блеска, уверенно лежат в пределах $\pm 0^d002$ — 0^d005 (доходя, однако, до $\pm 0^d008$ для фотоэлектрических наблюдений отдельных минимумов [12]), то относительно точности определения средних фотографических моментов минимумов системы существуют большие разногласия. Наш опыт обработки фотографических наблюдений CQ Сер [2], [19], а также рассмотрение фотографических кривых блеска системы, полученных другими авторами, показывают, что точность определения моментов минимумов по фотографическим кривым с числом оценок блеска,

превышающим 200, вплотную приближается к точности определения средних фотоэлектрических моментов минимумов и составляет $\pm 0^d006$. (Здесь и далее предполагается более или менее равномерное распределение наблюдений по периоду). Если число фотографических оценок блеска $N \geq 70$, то ошибка не превосходит $\pm 0^d010$. При дальнейшем уменьшении ($60 > N \geq 40$) ошибка резко возрастает и может дойти до $\pm 0^d020$. Очевидно, что точность фотографических моментов минимумов, полученных Гапошкиным [1], завышена в несколько раз, но не на порядок, как полагают авторы работы [7]. Итак, рассмотрение всех привлеченных к исследованию фотографических кривых блеска системы показало, что за одним исключением (кривая блеска CQ Сер, полученная Курочкиным для 1899—1908 гг.) все они содержат 60 и более оценок блеска (см. табл. 1, столбец 8, где помимо автора и ссылки на работу указаны способ наблюдений и число полученных оценок блеска), т. е. точность подавляющего большинства (O—C)-разностей, полученных из фотографических наблюдений, не хуже $\pm 0^d010$ и, следовательно, близка к точности определения отдельных фотоэлектрических моментов минимумов системы.

Уклонения наблюдаемых моментов главного и вторичного минимумов от расчетных (O—C₁) и (O—C₂) определялись с использованием линейной формулы

$$T_{\min I} (I. D.) = 2415500^d780 + 1^d641323E. \quad (1)$$

Они представлены в столбце 6 табл. 1 и на рис. 1, а.

Первое рассмотрение (O—C₁)- и (O—C₂)-диаграмм CQ Сер (рис. 1, а) показывает, что основным эффектом, определяющим ход (O—C) со временем, является вековое уменьшение периода системы (обе зависимости имеют вид выпуклых парабол). Однако полного согласия между ходом этих двух зависимостей нет. Это свидетельствует о том, что помимо основного существуют другие эффекты, вызывающие уклонения моментов минимумов от расчетных. В связи с этим анализ (O—C)-диаграмм был начат с рассмотрения разностной (O—C₂) — (O—C₁)-диаграммы (см. столбец 7 табл. 1 и рис. 1, б). Достоинство последней состоит в том, что она свободна как от уклонений, связанных с прямым изменением орбитального периода системы, так и от уклонений, возникающих в том случае, если в системе имеется третье тело. С другой стороны, в разностной диаграмме происходит удвоение амплитуды эффекта, производимого движением линии апсид, что способствует обнаружению последнего.

Действительно, в самом общем виде:

$$(O - C_1) = \Delta T_0 + \Delta PE + \dot{P}E^2 + a \cos(\omega_{01} + \omega_1 E) - b \cos(\omega_{02} + \omega_2 E); \quad (2)$$

$$(O - C_2) = \Delta T_0 + \Delta PE + \dot{P}E^2 + a \cos(\omega_{01} + \omega_1 E) + b \cos(\omega_{02} + \omega_2 E); \quad (3)$$

$$(O - C_2) - (O - C_1) = 2b \cos(\omega_{02} + \omega_2 E). \quad (4)$$

В формулах (2) и (3) учтены неточности определения начальной эпохи T_0 (ΔT), неточность принятого за исходное значение орбитального периода системы P (ΔP), возможное вековое изменение периода системы — третий член, возможные колебания разностей (O—C), обусловленные движением двойной системы по долгопериодической орбите, — четвертый член и, наконец, колебания разностей (O—C), связанные с возможным движением линии апсид, — пятый член.

Рассмотрение разностной диаграммы CQ Сер показало (рис. 1, б), что, если не принимать во внимание значения (O—C₂) — (O—C₁), относящиеся к аномальному периоду (1936—1949 [8]), оставшиеся разности (O—C₂) — (O—C₁) хорошо ложатся на наклонную косинусоиду, для которой расчеты дали следующее выражение:

$$(O - C_2) - (O - C_1) = \pm 0^d034 - 0^d0000029E + 0^d020 \cos(295^\circ + 0^d030E). \quad (5)$$

$\pm 2 \quad \quad \quad \pm 4 \quad \quad \quad \pm 2 \quad \quad \quad \pm 5 \quad \quad \quad \pm 1$

На рис. 1, б линией I дано представление (O—C₂) — (O—C₁)-диаграммы формулой (5).

Таким образом, в системе происходит движение линии апсид, налагающееся на линейный ход разности (O—C₂) — (O—C₁).

Из формулы (5) следует:

$$b = \frac{P \cdot e}{\pi \cdot \dots} = 0.01, \quad e = 0.02; \quad \dot{\omega}_2 = 0.03^\circ/\text{период}, \quad \omega_{02} = 295^\circ; \quad U \approx 54 \text{ года}, \quad U/P \approx 12000,$$

где e — эксцентриситет орбиты системы; ω_{02} — долгота периастра для эпохи T_0 ; $\dot{\omega}_2$ — изменение долготы периастра за один период; U — период обращения линии апсид.

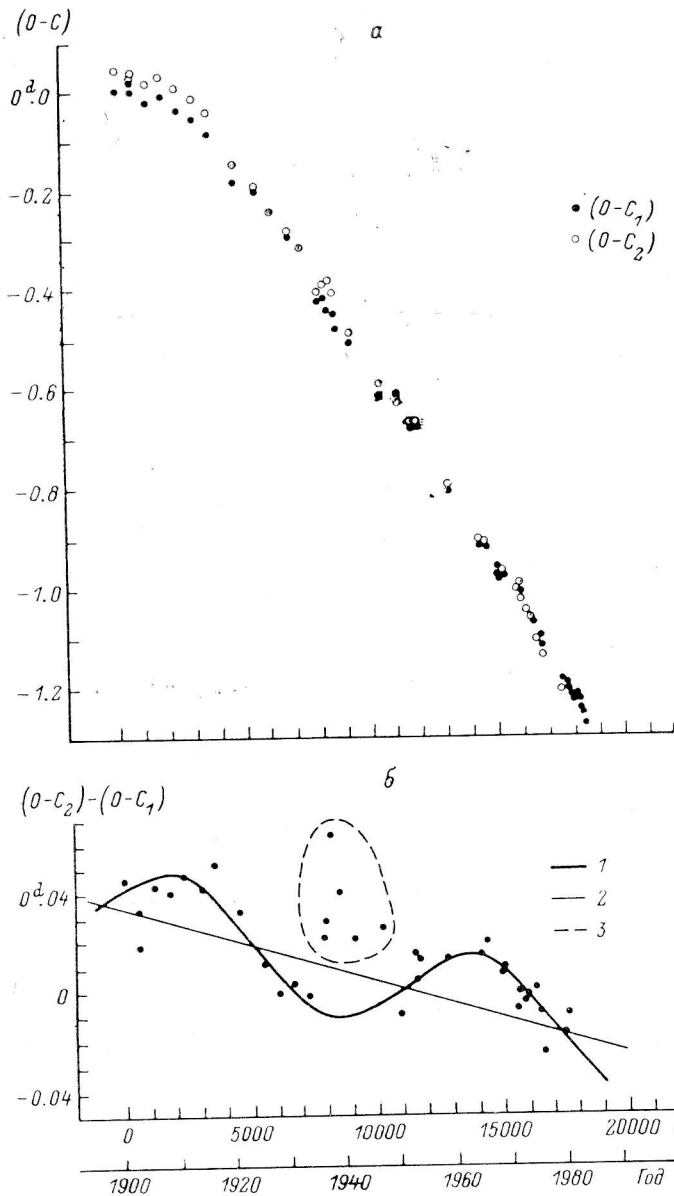


Рис. 1. (O—C)-диаграмма CQ Сер для моментов главного и вторичного минимумов (а) и разностная (O—C₂)—(O—C₁)-диаграмма CQ Сер (б).

1 — теоретическое представление диаграммы наклонной косинусоидой; 2 — линейный ход моментов вторичного минимума относительно моментов главного минимума; 3 — разности (O—C₂)—(O—C₁), относящиеся к аномальному периоду.

Для дальнейшего исследования (O—C)-диаграмм важно было понять происхождение линейного хода со временем разности (O—C₂)—(O—C₁). Ясно, что этот дополнительный к апсидальному ход моментов вторичного минимума относительно моментов главного минимума может быть обязан только разнице

искажающего влияния на моменты минимумов околозвездной газовой среды. То есть в формулы (2) и (3) следует ввести еще члены $A_1(E)$ и $A_2(E)$ соответственно, учитывающие искажение моментов минимумов околозвездной газовой средой. Тогда в формуле (4) появится член $A(E) = A_2(E) - A_1(E)$, который в нашем случае имеет вид:

$$A(E) = A_2(E) - A_1(E) = -0^{\circ}034 - 0^{\circ}0000029E. \quad (6)$$

Весь вопрос в том, которому из минимумов приписать большую степень искажения, а следовательно, в какую из диаграмм — (O—C₁) или (O—C₂) — внести поправки за выявленный линейный ход.

Учитывая, что основная масса газа, подверженная значительным изменениям плотности, сосредоточена между звездами и то, что размеры WR-ядра значительно меньше размеров O-звезды [8], мы пришли к заключению, что даже при существенной наклонности орбиты к лучу зрения моменты вторичного минимума (WR впереди) должны быть искажены значительно сильнее ($|A_2(E)| > |A_1(E)|$). Этому выводу не противоречит такой наблюдательный факт, как сильное локальное поглощение в фазах за вторичным минимумом в кривых блеска Курочкина 1937 и 1938 гг. (см. [6]).

Однако наблюдения показывают, что и положение главного минимума, и вся кривая в целом искажены общей оболочкой. Об этом свидетельствуют и асимметрия главного минимума, степень которой изменяется как от одного ряда наблюдений к другому [8], так и от ночи к ночи [12, 13], и сдвиг моментов обоих максимумов кривых блеска системы в сторону больших фаз, и часто отмечаемое неравенство по блеску максимумов I и II. Все эти данные хорошо согласуются, если искажение кривых блеска SQ Сер околозвездной газовой средой рассматривать состоящим из двух составляющих: 1) из искажения всей кривой блеска свечением в непрерывном спектре общей оболочки, распределение плотности в которой таково, что в итоговой кривой блеска происходит смещение фотометрических центров обоих затмений относительно геометрических, и 2) из локального поглощения света звезд массами газа, находящимися между звездами (рассеяние на свободных электронах).

В результате дополнительного свечения общей оболочки мы имеем сдвиг моментов обоих минимумов в одном и том же направлении и примерно на одну и ту же величину, исключаяющийся в разностной (O—C₂) — (O—C₁)-диаграмме. Таким образом, смысл членов $A_1(E)$ и $A_2(E)$ подлежит дальнейшему уточнению:

$$A_1(E) = a(E); \quad (7)$$

$$A_2(E) = a(E) + A(E), \quad (8)$$

где $a(E)$ — искажение положения моментов обоих минимумов, связанное с существованием у системы общей оболочки, дающей большой вклад в свечение системы в непрерывном спектре; $A(E)$ — дополнительное искажение моментов вторичного минимума газовыми струями, уплотнениями, сосредоточенными в пространстве между звездами.

Для того чтобы не исключать из рассмотрения (O—C₁)- и (O—C₂)-разности, относящиеся к аномальному периоду, мы, используя формулу (5), т. е. исключая из усредненного хода (O—C₂) — (O—C₁) косинусоидальный член, нашли усредненный ход величины $A(E)$ вдоль аномального периода. Эти результаты приведены на рис. 2.

Далее мы исправили все наблюдаемые значения (O—C₁) и (O—C₂) за движение линии апсид, а (O—C₂)-разности еще и за искажение моментов вторичного минимума массами газа, находящимися между звездами, т. е.:

$$(O - C_1)_{испр} = (O - C_1) + b \cos(\omega_0 + \omega_2 E) = \Delta T_0 + a(E) + \Delta PE + \dot{P}E^2; \quad (9)$$

$$(O - C_2)_{испр} = (O - C_2) - b \cos(\omega_0 + \omega_2 E) - A(E) = \Delta T_0 + a(E) + \Delta PE + \dot{P}E^2. \quad (10)$$

Члены формул (2) и (3), связанные с движением двойной системы по долгопериодической орбите, были исключены из рассмотрения, так как пока это движение неочевидно.

Значения $(O-C_1)_{испр}$ и $(O-C_2)_{испр}$ представлены на рис. 3, а. Из рисунка видно, что $(O-C_1)_{испр}$ и $(O-C_2)_{испр}$ -разности очень хорошо согласуются между собой и вместе с тем весь объединенный график явно распадается на пять ветвей с существенно меньшим разбросом значений внутри каждой из них.

Далее было сделано предположение о том, что в течение каждого из выделенных пяти временных интервалов (пяти ветвей) продолжительностью 10—20 лет искажающее воздействие общей оболочки системы на моменты минимумов $a(E)$ оставалось неизменным: $a(E) = a_i$, где $i = 1 \dots 5$.

Поскольку член a_i в формулах (9) и (10) неотделим от поправки нуля-пункта (ΔT_0) и поскольку это искажение, вероятно, изменяет свое значение от одной ветви к другой, то абсолютно самостоятельное рассмотрение для отдельных ветвей представилось нам наиболее верным путем исследования $(O-C)_{испр}$ -диаграммы.

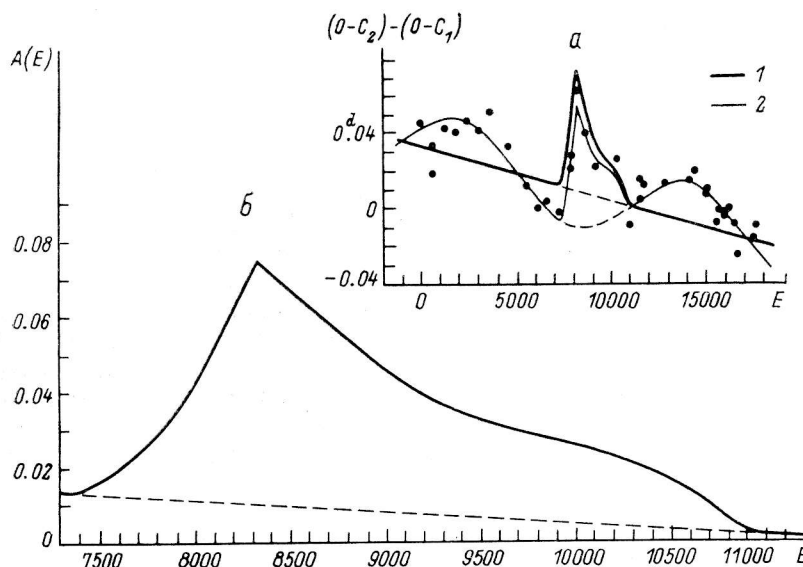


Рис. 2. Разностная $(O-C_2)-(O-C_1)$ -диаграмма CQ Сер (а) и ход дополнительного искажения моментов вторичного минимума $A(E)$ вдоль аномального периода (б).

1 — ход $A(E)$ моментов вторичного минимума относительно моментов главного минимума, обусловленный дополнительным искажением моментов, вторичного минимума плотными частями оболочки между звездами; 2 — ход со временем $(O-C_2)-(O-C_1)$ -разностей.

Итак, $(O-C)_{испр}$ -уклонения были перевычислены для каждой ветви с ее собственным «нуль-пунктом» [величиной $(T_0 + a_i)$], за который принимался наблюдаемый момент первого главного минимума ветви и от которого шел отсчет циклов.

Далее способом наименьших квадратов решалось пять систем уравнений вида

$$(O - C)_{испр, i} = (\Delta T_0 + a)_i + \Delta P_i E + \dot{P}_i E, \text{ где } i = 1 \dots 5. \quad (11)$$

В итоге проведенных вычислений были получены следующие результаты:

$$(O - C)_{испр} = +0^d004 \pm 6 + 0^d00000E \pm 8 \pm 2.1 - 5^d9 \cdot 10^{-9} E^2 \pm 2.1 \quad (12)$$

$$(O - C)_{испр} = +0^d009 \pm 6 - 0^d000046E \pm 9 \pm 3.1 - 3^d7 \cdot 10^{-9} E^2 \pm 3.1 \quad (13)$$

$$(O - C)_{испр} = +0^d007 \pm 5 - 0^d000074E \pm 13 \pm 5.1 - 2^d1 \cdot 10^{-9} E^2 \pm 5.1 \quad (14)$$

$$(O - C)_{испр} = -0^d007 \pm 3 - 0^d000085E \pm 5 \pm 1.2 + 0^d0 \cdot 10^{-9} E^2 \pm 1.2 \quad (15)$$

$$(O - C)_{испр} = +0^d023 \pm 5 - 0^d000106E \pm 7 \pm 1.9 + 2^d6 \cdot 10^{-9} E^2 \pm 1.9 \quad (16)$$

Они позволили написать 10 эфемеридных формул:

$$T_{\min I} = 2415500^d784 + 1^d641323E - 5^d9 \cdot 10^{-9}E^2 - 0^d01 \cos(295^\circ + 0^d03E); \quad (17)$$

$$T_{\min II} = 2415500^d784 + 1^d641323E - 5^d9 \cdot 10^{-9}E^2 + 0^d01 \cos(295^\circ + 0^d03E) + A(E) \quad (18)$$

(для 1901—1917 гг.);

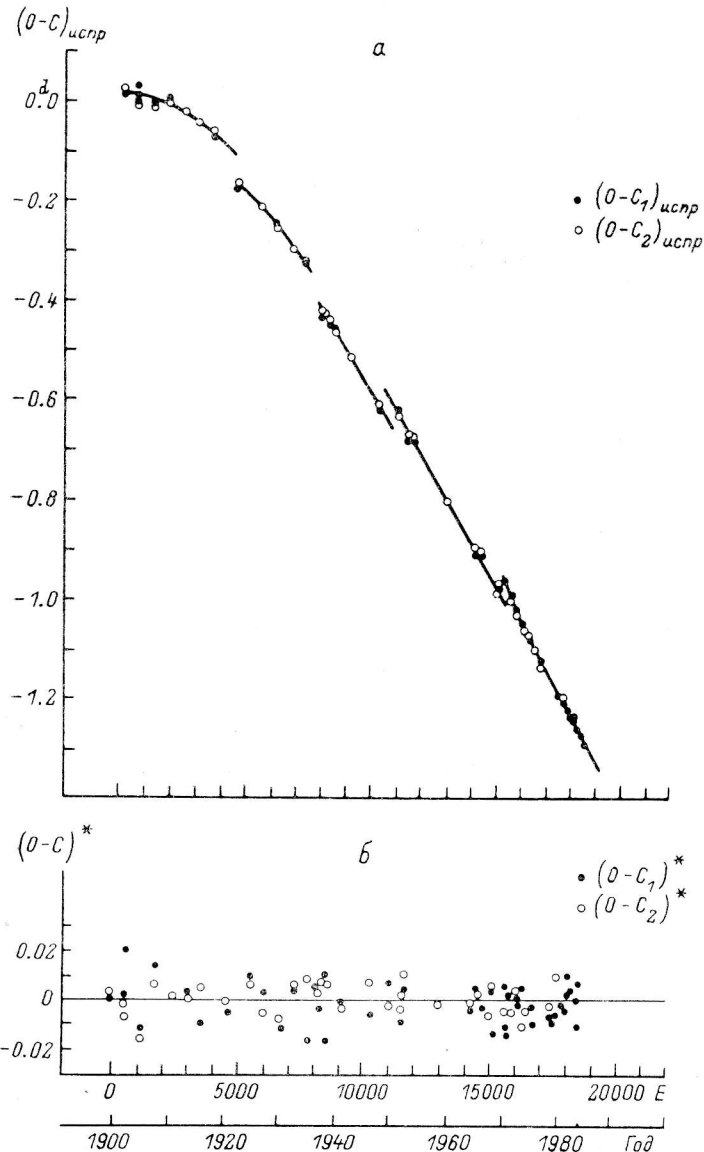


Рис. 3. (O—C)-диаграмма, исправленная за движение линий апсид и линейный ход моментов вторичного минимума относительно моментов главного минимума (а), и диаграмма остаточных уклонений (O—C)* (б).

Сплошными линиями дано теоретическое представление (O—C)испр-диаграммы.

$$T_{\min I} = 2423001^d450 + 1^d641277E - 3^d7 \cdot 10^{-9}E^2 - 0^d01 \cos(72^\circ + 0^d03E); \quad (19)$$

$$T_{\min II} = 2423001^d450 + 1^d641277E - 3^d7 \cdot 10^{-9}E^2 + 0^d01 \cos(72^\circ + 0^d03E) + A(E) \quad (20)$$

(для 1921—1934 гг.);

$$T_{\min I} = 2428501^d273 + 1^d641249E - 2^d1 \cdot 10^{-9}E^2 - 0^d01 \cos(173^\circ + 0^d03E); \quad (21)$$

$$T_{\min II} = 2428501^d273 + 1^d641249E - 2^d1 \cdot 10^{-9}E^2 + 0^d01 \cos(173^\circ + 0^d03E) + A(E) \quad (22)$$

(для 1936—1947 гг.);

$$T_{\min I} = 2433530^d084 + 1^d641238E - 0^d01 \cos(265^\circ + 0^d03E); \quad (23)$$

$$T_{\min II} = 2433530^d084 + 1^d641238E + 0^d01 \cos(265^\circ + 0^d03E) + A(E) \\ (\text{для } 1950-1969.1 \text{ гг.}); \quad (24)$$

$$T_{\min I} = 2440362^d593 + 1^d641217E + 2^d6 \cdot 10^{-9}E^2 - 0^d01 \cos(29^d5 + 0^d03E), \quad (25)$$

$$T_{\min II} = 2440362^d593 + 1^d641217E + 2^d6 \cdot 10^{-9}E^2 + 0^d01 \cos(29^d5 + 0^d03E) + A(E) \\ (\text{для } 1969.3-1984 \text{ гг.}), \quad (26)$$

где $A(E)$ для 1-, 2-, 4- и 5-й ветвей определяется формулой (6), а ход $A(E)$ для 3-й ветви приведен на рис. 2, б.

На рис. 3, а сплошными линиями дано теоретическое представление $(O-C)_{\text{испр}}$ -разностей, полученное с помощью формул (12)–(16) и с учетом скачков «нуль-пункта» ($T_0 + a_i$) при переходе от одной ветви к другой.

На рис. 3, б представлена диаграмма остаточных уклонений $(O-C)^*$. Из рис. 3, б видно, что учет движения линии апсид, векового и скачкообразного изменений периода системы, учет искажения моментов обоих минимумов свечением общей оболочки и дополнительного искажения моментов вторичного минимума плотными частями оболочки, расположенными между звездами, резко снизил разброс на $(O-C)^*$ -диаграмме. Среднее квадратическое уклонение отдельного значения $(O-C)^*$ от нулевого значения составило $\pm 0^d007$, что хорошо согласуется с ошибками определения моментов минимумов системы.

Проведенное исследование $(O-C)$ -диаграмм CQ Сер позволило нам изучить ход со временем орбитального периода системы, который в общем виде представляется выражением

$$P = P_0 + 2\dot{P}E + \frac{P_0 e \dot{\omega}_2}{\pi} \sin(\omega_2 + \dot{\omega}_2 E), \quad (27)$$

где первый член P_0 — начальное значение периода системы, второй член учитывает вековое изменение орбитального периода, а третий член дает колебание периода, обусловленное изменением самой орбиты (вращение линии апсид).

Для пяти ветвей (пяти временных интервалов) были получены следующие формулы для изменения орбитального периода CQ Сер:

$$P_1 = 1^d641323 - 11^d8 \cdot 10^{-9}E + 5^d5 \cdot 10^{-6} \sin(295^\circ + 0^d03E) \quad (1901-1917 \text{ гг.}); \quad (28)$$

$$P_2 = 1^d641277 - 7^d4 \cdot 10^{-9}E + 5^d5 \cdot 10^{-6} \sin(72^\circ + 0^d03E) \quad (1921-1934 \text{ гг.}); \quad (29)$$

$$P_3 = 1^d641249 - 4^d2 \cdot 10^{-9}E + 5^d5 \cdot 10^{-6} \sin(173^\circ + 0^d03E) \quad (1936-1947 \text{ гг.}); \quad (30)$$

$$P_4 = 1^d641238 + 5^d5 \cdot 10^{-6} \sin(265^\circ + 0^d03E) \quad (1950-1969.1 \text{ гг.}); \quad (31)$$

$$P_5 = 1^d641217 + 5^d2 \cdot 10^{-9}E + 5^d5 \cdot 10^{-6} \sin(29^d5 + 0^d03E) \quad (1969.3-1984 \text{ гг.}). \quad (32)$$

На рис. 4, а изображен ход со временем орбитального периода системы, свидетельствующий о том, что в течение века у CQ Сер наряду с плавными изменениями орбитального периода происходили скачкообразные его изменения. Темп векового изменения периода был не постоянен. Если в первой половине века период испытывал вековое уменьшение ($\dot{P} < 0$), причем скорость его постепенно убывала, то в начале второй половины века (четвертая ветвь) векового изменения периода не наблюдалось ($\dot{P} \approx 0$). Наконец, пятый временной интервал (пятая ветвь) характеризовался вековым увеличением периода системы ($\dot{P} > 0$). Скачки периода, отмечаемые при переходе от первой ветви к второй, от второй к третьей и от третьей к четвертой, не превышали точности определения значения P и поэтому сомнительны. Что касается скачкообразного уменьшения периода на $\Delta P = 0^d00002$, произошедшего при переходе от четвертой ветви к пятой, то его реальность не вызывает сомнения. Он явно является следствием вспышки (выброса материи), наблюдаемой нами в конце марта 1969 г. [15].

Переход от одной ветви к другой сопровождался, кроме того, значительными скачками «нуль-пункта». Эти относительные скачки

$$\Delta_i = (T_0 + a_i) - T_{\min I (i-1)} = a_i - a_{i-1}, \quad (i = 2 \dots 5), \quad (33)$$

где $T_{\min I(i-1)}$ — момент главного минимума, подсчитанный по эфемеридной формуле предыдущей $(i-1)$ -й ветви на момент начала последующей i -й ветви, приведены в табл. 2 и свидетельствуют о значительном изменении искажения a_i при переходе от одной ветви к другой. В табл. 2 и на рис. 4, б приведен ход со временем искажения a_i или, иначе, искажения моментов главного минимума

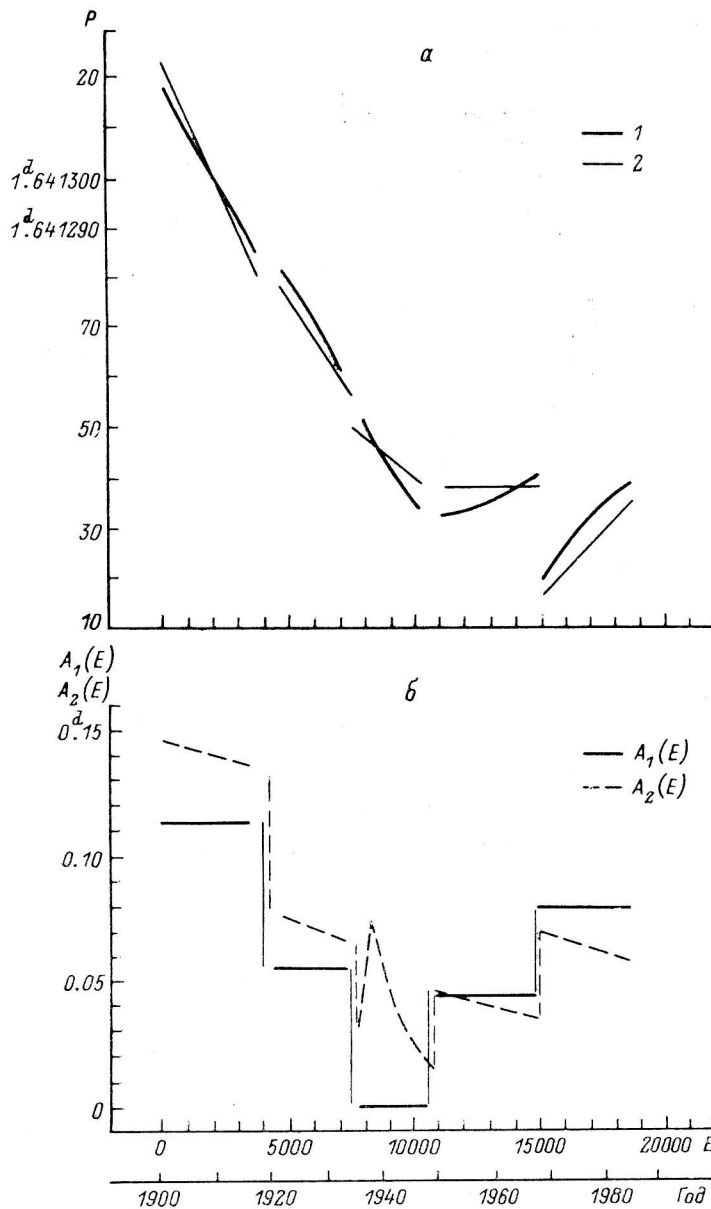


Рис. 4. Изменение со временем орбитального периода CQ Сер (а) и ход искажений главного и вторичного минимумов CQ Сер [$A_1(E)$ и $A_2(E)$] общей оболочки системы (б).

1 — итоговый ход; 2 — ход, учитывающий только вековое изменение орбитального периода системы.

свечением общей оболочки — $A_1(E)$. На том же рисунке представлен ход искажения моментов вторичного минимума свечением общей оболочки и уплотнениями газа между звездами: $A_2(E) = a_i + A(E)$. За нуль-пункт хода искажений моментов минимумов околозвездной газовой среды было принято значение a_i вдоль третьей ветви ($a_3 = 0$). Именно в начале третьего временного интервала (аномального периода) была получена кривая блеска CQ Сер с самыми мелкими минимумами ($\Delta m \leq 0.2$) и нормально расположенным по фазе максимумом I

(кривая блеска июля—августа 1937 г. [6]), свидетельствующими о том, что искажение моментов минимумов, как и всей кривой блеска в целом, свечением общей оболочки было в то время минимальным.

Если рассматривать вековое изменение орбитального периода как результат перетекания массы от одного компонента системы к другому, то смену знака скорости векового изменения периода CQ Сер надо интерпретировать как смену направления истечения материи (то есть поток из O-компонента сменился потоком из WR-звезды). Такая интерпретация находится в хорошем согласии с тем фактом, что примерно в начале 50-х годов (рис. 2, а) произошла смена знака с «+» на «-» величины $A(E)$ — дополнительного искажения моментов вторичного минимума плотными частями оболочки между звездами.

Из выражения для орбитального момента вращения двойной системы

$$J = \frac{m_0 m_{WR}}{m_0 + m_{WR}} A^2 \omega,$$

где A — расстояние между звездами пары, а ω — средняя угловая скорость, и третьего закона Кеплера получаем связь орбитального момента вращения системы с массами компонент и орбитальным периодом:

$$J^3 = \frac{G^2 (m_0 m_{WR})^3}{2\pi (m_0 + m_{WR})} P. \quad (34)$$

Логарифмирование и дифференцирование последнего выражения дает связь \dot{J} , \dot{m}_0 , \dot{m}_{WR} и \dot{P} :

$$\frac{\dot{P}}{P} = 3 \frac{\dot{J}}{J} - \frac{\dot{m}_{WR}}{m_{WR}} \frac{2q+3}{q+1} - \frac{\dot{m}_0}{m_0} \frac{3q+2}{q+1}, \quad (35)$$

где $J = \dot{m}_{WR} j_{WR} + \dot{m}_0 j_0$ (j_{WR} и j_0 — орбитальные моменты вращения компонент на единицу массы; $j_{WR} = \text{const}$; $j_0 = \text{const}$).

Расчеты выполнялись в предположении консервативного перетекания массы от одного компонента к другому и постоянного радиального истечения материи из WR-звезды, уносящего угловой момент из системы.

В самом общем случае:

$$\begin{aligned} \dot{m}_0 &= -\dot{m}_0 + \dot{m}_{WR}; \\ \dot{m}_{WR} &= -\dot{m}'_{WR} - \dot{m}_{WR} + \dot{m}_0; \\ \dot{J} &= -\dot{m}'_{WR} j_{WR}; \quad j_{WR} = \left(\frac{m_0}{m_0 + m_{WR}} \right)^2 A^2 \omega, \end{aligned}$$

где \dot{m}_0 — темп потери массы O-звездой, происходящей из-за существования потока из O-звезды к WR-компоненту; \dot{m}_{WR} — темп потери массы WR-звездой, происходящей из-за существования потока из WR-компонента к O-звезде; \dot{m}'_{WR} — темп радиального истечения материи из WR-звезды.

Для пяти ветвей (пяти временных интервалов) были получены следующие соотношения между темпами потери массы компонентами системы:

$$\dot{m}_{WR} - \dot{m}_0 + 1.7\dot{m}'_{WR} = -2.6 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год} \quad (1901-1917); \quad (36)$$

$$\dot{m}_{WR} - \dot{m}_0 + 1.7\dot{m}'_{WR} = -1.6 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год} \quad (1921-1934); \quad (37)$$

$$\dot{m}_{WR} - \dot{m}_0 + 1.7\dot{m}'_{WR} = -10^{-5} m_{\odot}/\text{год} \quad (1936-1947); \quad (38)$$

$$\dot{m}_{WR} - \dot{m}_0 + 1.7\dot{m}'_{WR} = 0 \quad (1950-1969); \quad (39)$$

$$\dot{m}_{WR} - \dot{m}_0 + 1.7\dot{m}'_{WR} = +1.4 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год} \quad (1969.3-1984). \quad (40)$$

При вычислениях использовались результаты нашего спектроскопического исследования системы [11].

Далее рассматривались четыре значения \dot{m}'_{WR} : 1 — $\dot{m}'_{WR} = 10^{-5} m_{\odot}/\text{год}$; 2 — $\dot{m}'_{WR} = 0.5 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год}$; 3 — $\dot{m}'_{WR} = 0.2 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год}$; 4 — $\dot{m}'_{WR} = 10^{-6} m_{\odot}/\text{год}$.

Подстановка их в пять приведенных выше соотношений (36)—(40) в сочетании с предположением о том, что поток из WR-компонента появился не раньше 1950 г., дали четыре возможных хода со временем темпа потери массы О-звезды (см. тонкие сплошные линии на рис. 5).

Из полученных результатов, учитывая большую ошибку определения величин \dot{m} ($\Delta\dot{m} \approx \pm 0.4 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год}$), можно заключить, что на четвертом временном интервале поток из WR-звезды если и был, то слабый. Значительным он стал лишь на пятом временном интервале.

Тот факт, что линейный ход дополнительного искажения моментов вторичного минимума потоками между звездами сохранялся единым и для области положительных и для области отрицательных значений $A(E)$, позволяет предполагать, что темп затухания потока из О-звезды был близок к темпу роста

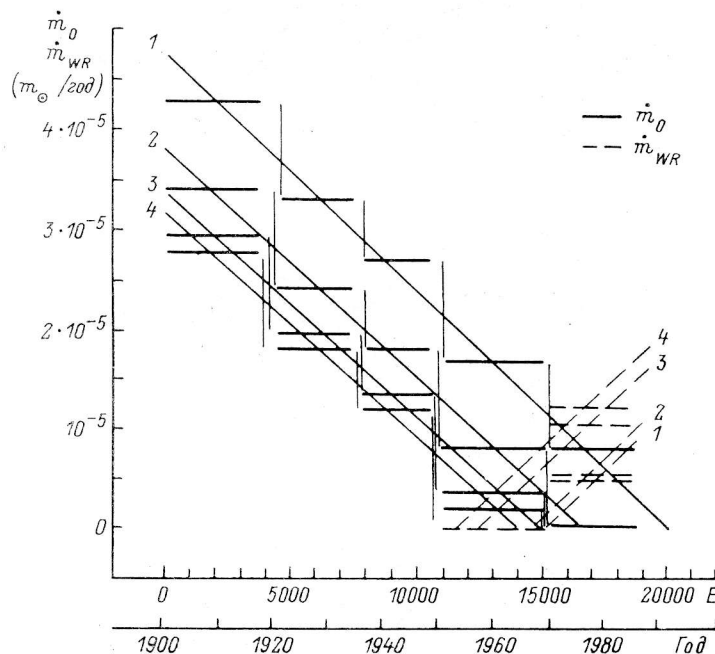


Рис. 5. Изменение со временем темпа потери массы компонентами системы (\dot{m}_0 и \dot{m}_{WR}), происходящей из-за перетекания материи от одного компонента к другому при различных предположениях относительно темпа радиального истечения вещества из WR-звезды.

$$1 - \dot{m}'_{WR} = 10^{-6} m_{\odot}/\text{год}; 2 - \dot{m}'_{WR} = 0.5 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год}; 3 - \dot{m}'_{WR} = 0.2 \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год}; 4 - \dot{m}'_{WR} = 10^{-6} m_{\odot}/\text{год}.$$

потока из WR-компонента, т. е. $|\dot{m}_0| \approx |\dot{m}_{WR}| = \text{const.}$ Это позволило нам грубо восстановить ход со временем величины \dot{m}_{WR} и проэкстраполировать его на ближайшее будущее (см. тонкие штриховые линии на рис. 5).

Из рассмотренных значений темпа радиального истечения материи из WR-звезды значение $\dot{m}'_{WR} = (0.2 \pm 0.1) \cdot 10^{-5} m_{\odot}/\text{год}$ кажется нам наилучшим образом удовлетворяющим наблюдениям. Именно при этом значении \dot{m}'_{WR} поток из О-звезды в районе пятидесятих годов становится малым и, возможно, сравнимым с потоком из WR-компонента, что приводит к исчезновению дополнительного искажения моментов вторичного минимума: $A(E) \approx 0$. Дальнейший же рост отрицательных значений искажения $A(E)$ хорошо объясняется развитием потока из WR-компонента (при полном затухании потока из О-звезды). Что касается третьего временного интервала, на котором был нарушен линейный ход искажения $A(E)$, то здесь, вероятно, наряду с ослабевшим потоком из О-звезды имели место выбросы из WR-компонента, предшествующие появлению потока из нее и вызвавшие временное усиление искажения моментов вторичного минимума. Свидетельством тому является вспышка 17/18 июля 1937 г., обнаруженная у звезды Курочкиным [6].

На рис. 6 изображены три модели CQ Сер, относящиеся к началу, середине и второй половине века. В основу моделей положено наше решение кривой блеска июля—августа 1937 г. [8] и результаты настоящего исследования, показавшего, что система находилась в течение века в весьма активном состоянии.

Если опираться на результаты наших наблюдений 1969 г., показавшие, что пятая ветвь на (O—C)-диаграмме появилась после вспышки, то первопричиной возникновения всех ветвей можно считать выбросы материи из компонентов системы. Результаты проведенного исследования (O—C)-диаграммы CQ Сер

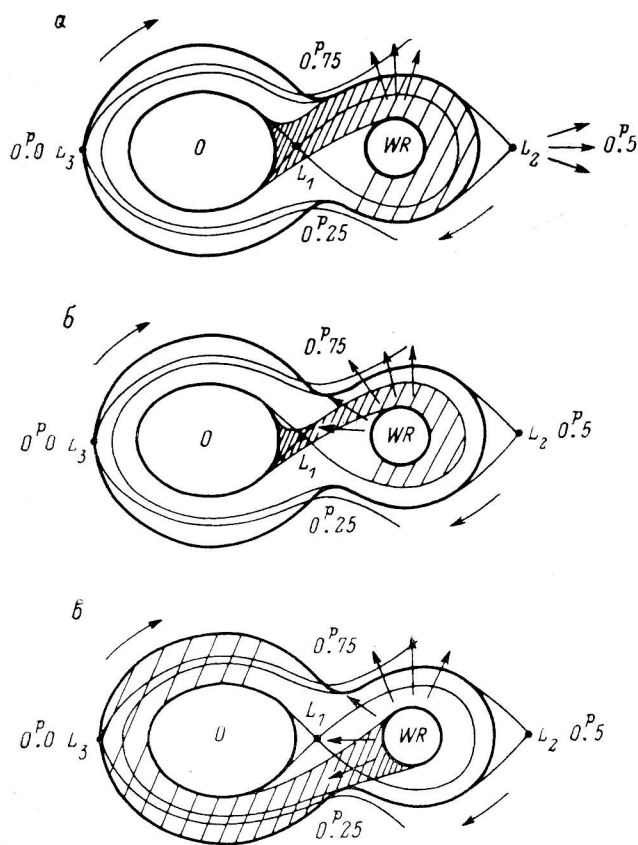


Рис. 6. Качественные модели общей оболочки CQ Сер.

a — начало века (1900—1920); *б* — 1936—1938 гг.; *в* — вторая половина века (1969—1984). В основу моделей системы положено наше решение кривой блеска CQ Сер июля—августа 1937 г. [8]. Стрелками показаны возможные направления выбросов вещества из WR-звезды.

говорят о том, что выбросы эти в основном были не столь сильны, чтобы вызвать скачкообразное изменение периода системы, но достаточно сильны, для того чтобы резко изменить распределение плотности в общей оболочке, а следовательно, и ее искажающее воздействие на моменты минимумов системы. Судя по табл. 2, выбросы первой половины века способствовали выравниванию плотности общей оболочки системы, крайне неоднородной в начале века (сильный поток из O-звезды). Это были, вероятно, выбросы с «тыловой» части WR-компонента и, возможно, выбросы через критическую точку L_2 (рис. 6, *a*, *б*). Выбросы второй половины века, напротив, способствовали усилению неоднородного распределения плотности в общей оболочке, вновь возникшему с появлением и развитием потока из WR-компонента (рис. 6, *в*). Это как будто бы свидетельствует о том, что выбросы происходили с полусферы WR-звезды, обращенной к O-компоненту. Что же касается вспышки 1969 г., то характер ее развития [15] в сочетании с сопровождавшим ее резким уменьшением периода требует выброса с тыловой части поверхности WR-компонента. Возможен

некоторый компромиссный вариант выброса (рис. 6, *е*), ведущий и к уменьшению периода, и к возрастанию плотности оболочки перед O-звездой.

Использование формулы Хуана для быстрого способа потери массы [26] позволило нам оценить массу, выброшенную WR-звездой во время вспышки 1969 г., в $3.7 \cdot 10^{-5} m_{\odot}$.

Результаты, полученные для пятого временного интервала, имеют спектральные подтверждения. Резкое усиление Р Cуг-абсорбций линии He II 4686 (вплоть до насыщения) в фазах O_R10—O_R42 наряду с обнаружением очень слабых Р Cуг-абсорбций этой линии в фазах O_R6—O_R9 в наших наблюдениях 1981—1983 гг. [41] тоже свидетельствуют о скапливании поглощающей материи перед фронтом WR-звезды и дефиците ее перед тыловыми частями поверхности WR-компонента (рис. 6, *е*).

Обнаруженный у WR-компонента CQ Cep сравнительно низкий темп радиального истечения материи не противоречит выводу работы [41] о принадлежности его к группе WN 7—8 звезд, занимающих по своим физическим характеристикам промежуточное положение между Of-звездами и нормальными звездами WN.

В заключение авторы выражают благодарность Н. Е. Курочкину за предоставление нам неопубликованных таблиц с результатами фотометрии снимков CQ Cep из стеклотеки ГАИШа.

Авторы просят учесть следующее.

1. В работе допущена ошибка, возникшая из-за формального отождествления коэффициента при квадратичном члене в теоретическом представлении (O—C)_{теор.}-диаграммы параболой (q) со скоростью изменения орбитального периода (\dot{P}), связанных грубо соотношением $q = \dot{P}/2$.

2. Рассмотрим альтернативный вариант интерпретации (O—C)_{теор.}-диаграммы CQ Cep — представление последней сомкнутыми параболическими сегментами. Результаты будут опубликованы в ближайшее время.

16.06.89

Литература

1. G a r o s c h k i n S. The Wolf—Rayet eclipsing variable HV 11086=HD 214419 // *Astrophys. J.* 1944. 100. P. 242—250.
2. С в е ч н и к о в М. А. Изучение изменений периода у некоторых затменных переменных звезд: Дипл. работа. ЛГУ, 1954.
3. H i l t n e r W. A. Photometric investigations of the Wolf—Rayet binary CQ Cephei // *Astrophys. J.* 1950. 112. P. 477—503.
4. Д о м б р о в с к и й В. А. // Свечников М. А. Изучение изменений периода у некоторых затменных переменных звезд: Дипл. работа. Л.: ЛГУ, 1954.
5. S e m e n i u k I. Period behaviour in W-R eclipsing binaries // *Acta Astron.* 1968. 18. P. 313—316.
6. К у р о ч к и н Н. Е. Фотографические наблюдения CQ Цефея // *Астрон. циркуляр.* 1979. № 1063. С. 1—4.
7. А н т о х и н а Э. А., Л и п у н о в а Н. А., Ч е р е п а щ у к А. М. *UBVR*-фотометрия системы CQ Cep, изменение периода и потеря массы звездой Вольфа—Райе // *Астрон. журн.* 1982. 59. С. 704—710.
8. К а р т а ш е в а Т. А., С в е ч н и к о в М. А. Результаты фотометрических и спектральных исследований затменно-двойной типа Вольфа—Райе CQ Cephei // *Матер. совещ. «Звезды типа Вольфа—Райе и родственные им объекты», октябрь 1986 г., Эльва.*
9. N i e m e l a V. S. Observation of Wolf—Rayet binaries // *Globe Binary Stars: Observations and Interpretation. IAU Symp. N 88/Eds. Plavec M. J., Popper D. M. and Ulrich R. K. Dordrecht: Reidel, 1980. P. 177—180.*
10. К а р т а ш е в а Т. А., С н е ж к о Л. И. Спектроскопические исследования затменно-двойной типа Вольфа—Райе CQ Cep. Спектроскопическая орбита и спектральная классификация спутника // *Астрон. журн.* 1985. 62. С. 751—759.
11. К а р т а ш е в а Т. А., С н е ж к о Л. И. Спектроскопические исследования затменно-двойной типа Вольфа—Райе CQ Cephei // *Бюл. Абастуман. астрофиз. обс.* 1985. № 58. С. 25—31.
12. C Q C e p h e i. Is the period really changing? / E. N. Walker, C. Lloyd, C. D. Pike et al. // *Astron. Astrophys.* 1983. 128. P. 394—398.
13. K r e i n e r J. M., T r e m k o J. Period changes and the distortion of the light curve of the eclipsing variable CQ Cep with a WR component // *Bull. Astron. Inst. Gzechosl.* 1983. 34. P. 341—348.

14. Kreiner J. M., Tremko J. Further investigation of the eclipsing binary system CQ Cephei with Wolf-Rayet component // Бюл. Абастуман. астрофиз. obs. 1985. № 58. С. 35—44.
15. Карташева Т. А. Трехцветные фотоэлектрические наблюдения затменно-двойной типа Вольфа—Райе CQ Цефея Переменные звезды. 1972. 18. С. 459—467.
16. Ищенко И. М. Некоторые затменные двойные звезды в созвездии Лебедя, Ящерицы и Цефея // Тр. Ташкент. астроном. obs. 1963. Сер. II. 9. С. 104—120.
17. Чугайнов П. Ф. Трехцветные фотоэлектрические наблюдения затменно-двойной CQ Цефея // Переменные звезды. 1960. 13. С. 148—156.
18. Гусейнзаде А. А. О переменности оболочки затменно-двойной звезды CQ Цефея типа Вольфа—Райе (HD 214419) // Астрофизика. 1967. 3. С. 359—365.
19. Карташева Т. А. Фотометрические исследования затменно-двойной CQ Сер: Дипл. работа. УРГУ, 1966.
20. Халиуллин Х. Ф., Черепашук А. М. Узкополосная электрофотометрия затменно-двойной звезды типа Вольфа—Райе CQ Сер // Астрон. циркуляр. 1970. № 551. С. 5—7.
21. Meuser A. Times of minima of eclipsing binaries // Inform. Bull. Var. Stars. 1972. Nr 668. P. 1—2.
22. Карташева Т. А. Неопубликов. данные.
23. Карташева Т. А. Узкополосные фотоэлектрические наблюдения затменно-двойной CQ Сер // Письма в Астрон. журн. 1976. 2. С. 505—508.
24. Карташева Т. А. Узкополосные фотоэлектрические наблюдения 1975—1976 гг. затменно-двойной типа Вольфа—Райе CQ Сер и возможная их интерпретация // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1987. 24. С. 35—43.
25. Ultraviolet, optical and infrared observations of the Wolf-Rayet contact-eclipsing binary CQ Cephei / D. J. Stickland, G. E. Bromage, E. Budding et al. // Astron. Astrophys. 1983. 134. P. 45—76.
26. Su-Shu Huang. A dynamical problem in binary systems and its bearing on stellar evolution // Astron. J. 1956. 61. P. 49—60.

Поступила в редакцию
24 июля 1987 г.