

Телевизионные наблюдения переменных EQ, ER и ES Цефея в скоплении NGC 188

В. В. Прокофьева, С. Н. Клочков

Телевизионные наблюдения звезд EQ Cep, ER Cep, ES Cep в скоплении NGC 188 выполнены на Крымской астрофизической обсерватории АН СССР осенью 1969 г. За четыре ночи наблюдений на полуметровом телескопе получено около 350 снимков центра скопления в синем и желтом фильтрах.

Приведены кривые блеска переменных. Особенности изменения блеска EQ Cep указывают, что в этой паре наблюдается истечение материи, и на главном компоненте, по-видимому, появилась активная зона. Данные телевизионных наблюдений для ER Cep и ES Cep согласуются с опубликованными ранее.

TV Observations of the Variables EQ, ER and ES Cephei in the Cluster NGC 188 V. V. Prokofieva, S. N. Klotchkov

TV observations of EQ Cep, ER Cep, ES Cep were made in the Crimean Astrophysical Observatory in autumn 1969. About 350 photos in the blue and yellow regions were obtained in four nights with the half-metre telescope.

The light curves of the variables are given. The variations of the EQ Cep light curve show that there is injection of matter in this system. It is possible that the active zone has appeared on the surface of the one of components. The results of TV observations of ER Cep and ES Cep agree with the published dates.

Переменные EQ Сер, ES Сер, ER Сер, принадлежащие к звездам типа W UMa и являющиеся членами старого рассеянного скопления NGC 188, в последние годы привлекают внимание наблюдателей [1-6]. Недавно опубликованы кривые блеска для ES Сер и ER Сер, полученные в 1965 г. фотографическим методом на 5-метровом телескопе. Объекты эти нестационарны и поэтому интересно постоянно следить за происходящими в них изменениями.

Настоящие наблюдения выполнены в Крымской астрофизической обсерватории в 1969 г. Использовался полуметровый телескоп МТМ-500 и телевизионная установка с высокочувствительным суперортиконом; для дополнительного усиления света перед ним устанавливался преобразователь (ЭОП) с мультищелочным фотокатодом. С помощью специальной системы воздушного охлаждения, температура суперортикона и входного фотокатода ЭОП при наблюдениях поддерживалась постоянной, равной $+5^{\circ}\text{C}$ [8]. Передающая телевизионная камера с ЭОП устанавливалась в фокусе кудэ телескопа. Рабочее поле составляло около $10'$. Вращение поля телескопа не позволяло делать экспозиции более 4 минут.

Наблюдения проводились в синем и желтом фильтрах. Кривые реакции аппаратуры, определенные по отношению к источнику энергии спектрального класса G2 ($B-V = +0.65$) приведены на рис. 1. В качестве синего светофильтра использовалась комбинация стекол СС-5 и СЗС-7, дающая с мультищелочным фотокатодом кривую реакции, весьма близкую к системе В ($\lambda_{\text{эф}} = 0.44 \text{ мк}$). В качестве желтого фильтра использовался ЖС-16.

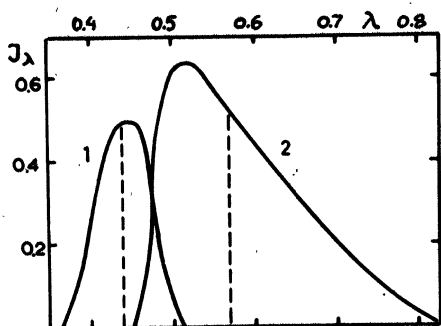


Рис. 1. Кривые реакции аппаратуры с синим (кривая 1) и желтым (кривая 2) фильтрами для источника света спектрального класса G2.

В этом случае кривая реакции существенно шире, чем в системе V, хотя эффективная длина волны ($\lambda_{\text{эф}} = 0.57 \text{ мк}$) не сильно отличается от эффективной длины волны системы V. Проведенная проверка цветовой системы по звездам скопления NGC 2158 показала, что для

наблюдавшихся нами звезд полученные значения звездных величин в желтом фильтре соответствуют звездным величинам в системе V в пределах ошибок наблюдений, составляющих несколько сотых звездной величины для средних значений блеска звезд в максимумах и минимумах.

Снимки центральной части скопления NGC 188 были получены в течение четырех ночей в ноябре 1969 г. В таблице 1 в первом столбце приведены даты наблюдений, во втором — номер NGC наблюдавшегося скопления, в третьем — продолжительность наблюдений (T), в четвертом — число снимков, использованных для обработки (N), в пятом и восьмом — время экспозиции (t) в желтом и синем фильтрах соответственно, в шестом и девятом — соответствующее время накопления потенциального рельефа на мишени суперортикона (τ), в седьмом и десятом — предельно слабые звезды, которые еще использовались для построения характеристических кривых ($m_{\text{пр}}$).

Таблица 1

Дата ноябрь 1969г.	NGC	T	N	t	желтый фильтр		синий фильтр		
					τ	$m_{\text{пр}}$	t	τ	$m_{\text{пр}}$
8--9	188	1 ^h 46 ^m	30	60 ^s	1 ^s .28	17 ^m .6	4 ^m	5 ^s .1	18 ^m .0
11--12	188	7 36	171	32	0 .64	17 .8	2	2 .5	18 .0
12--13	"	2 40	56	32	0 .64	17 .1	2	2 .5	17 .6
13--14	"	4 33	96	32	0 .64	17 .8	2	2 .5	18 .0
14--15	2158	--	2	16	0 .32	17 .7	1	1 .3	18 .0

Обработка полученного материала производилась в основном на микрофотометре МФ-2 методом обычной фотографической фотометрии фоточувствительных звездных изображений. Только на нескольких снимках изображения звезды ES Сер, наиболее яркой из наблюдавшихся звезд, измерялись методом диаметров [9].

При наблюдениях звезда EQ Сер все время находилась в центре поля зрения. Изображения звезд ER Сер и ES Сер перемещались вследствие вращения поля телескопа и временами уходили за край поля. Поэтому только часть снимков использовалась для измерений блеска этих звезд. Снимки звезды ES Сер в желтом фильтре не фотометрировались, т. к. метод диаметров, который надо было использовать, из-за большой яркости звезды, на краю поля давал большие ошибки измерений.

Звезды сравнений выбирались близкими к переменным по цвету, величине и расположению на снимках. Для EQ Сер была взята одна звезда сравнения, для ER Сер — три, и для ES Сер — две.

Таблица 2

Переменная	Звезды сравнения	V	B-V	Метод
EQ Сер	31 Ring I	16 ^m .25	0 ^m .78	фотоэл.
ER Сер	116 Ring II	15 .97	0 .70	"
"	124 "	15 .97	0 .76	фотограф.
"	125 "	15 .95	0 .76	"
ES Сер	112 "	16 .12	0 .73	фотоэл.
"	113 "	16 .45	0 .81	"

В таблице 2 приведены номера звезд сравнения по каталогу [10] и значения V и B-V, причем величины, определенные фотоэлектрическим методом, взяты из [7], а фотографическим — из [10].

Точность измерения разностей блеска двух звезд определялась как по звездам сравнения, так и по специально отобраным парам звезд, близким по яркости. Результаты определения средней квадратичной ошибки одного измерения Δm для звезд различной яркости приведены на рис. 2 кружками. На том же рисунке сплошной кривой изображена рас-

четная точность измерения Δm , обусловленная флуктуациями потока квантов от звезд и фона неба с площадки, равной изображению звезд, для квазиидеального приемника света с квантовым выходом $\epsilon = 0.1$. Предполагалось, что эмиссия фотоэлектронов подчиняется закону Пуассона

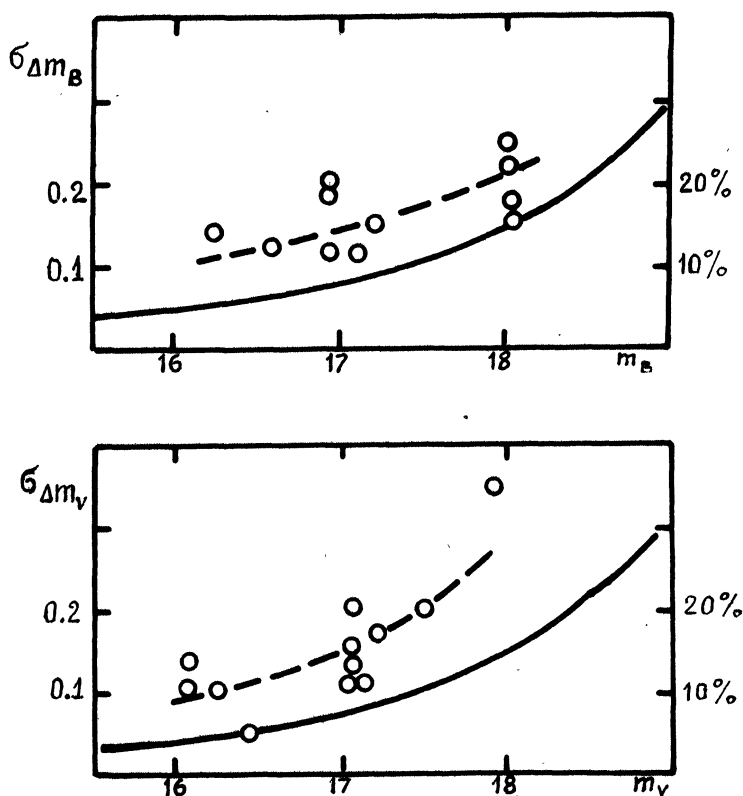


Рис. 2. Зависимость средней квадратичной ошибки измерения разности блеска двух звезд, $\sigma_{\Delta m}$, выраженной в звездных величинах (шкала слева) и в процентах (шкала справа) от яркости наблюдавшихся звезд. Верхний график построен для наблюдений в синем фильтре с экспозициями 2 мин., нижний — для наблюдений в желтом фильтре с экспозициями 30 сек. Кружки — экспериментальные данные, кривые — теоретический расчет.

и разность величин $N_{\bullet}^* + N_{\bullet}^{\phi}$ и $N_{\bullet}^*$ при измерениях звезды определяется в присутствии независимых статистических флуктуаций каждой из них ($N_{\bullet}^*$ — число эффективно поглощенных квантов, пришедших от звезды, $N_{\bullet}^{\phi}$ — то же от фона неба с площадки, равной изображению звезды).

Ошибка измерения блеска одной звезды определяется величиной $\sqrt{N_{\bullet}^* + 2N_{\bullet}^{\phi}}$. При определении ошибки измерения разности блеска двух звезд Δm величина под корнем удваивается и относительная точность измерения светового потока становится равной $\frac{\sqrt{2(N_{\bullet}^* + 2N_{\bullet}^{\phi})}}{N_{\bullet}^*}$. Для подсчета $N_{\bullet}^*$

и N° использовались формулы, приведенные в [11]; учитывалось, что световой поток ослаблен фильтрами. Значения яркости фона неба на зенитном расстоянии 40° были равны $21^m.6$ и $20^m.7$ в системе В и V соответственно. Коэффициент пропускания атмосферы принимался равным 0.6 для синей и 0.8 для желтой области спектра. Угловые размеры изображений звезд на фотоснимках в синем и желтом фильтрах составляли $3''.5$ и $3''.0$ соответственно.

Сравнение теоретической кривой с практическими определениями точности измерений Δm показывает, что мы уже подошли к пределу, где точность измерения начинает ограничиваться флуктуациями светового потока от звезд и фона неба.

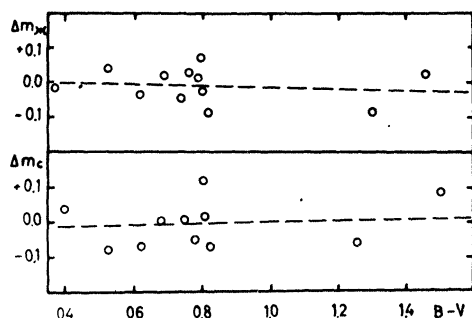


Рис. 3. Цветовая зависимость отклонений измеренных значений блеска звезд от характеристической кривой для наблюдений в желтом (вверху) и в синем (внизу) фильтрах.

Проверка цветовой системы была проведена по снимкам скопления NGC 2158, где имеются слабые звезды с большим различием показателя цвета $B-V$. На рис. 3 показаны отклонения измеренных звездных величин от характеристической кривой в зависимости от показателя цвета звезд $B-V$ для наблюдений в желтом (вверху) и в синем (внизу) фильтрах. Каждый кружок представляет значение Δm , усредненное по трем — четырем звездам с близкими значениями $B-V$. Звездные величины, определенные по снимкам в синем фильтре, хорошо согласуются с величинами B . Для наблюдений в желтом фильтре заметно некоторое отклонение. Однако, для наблюдавшихся нами переменных, мало отличающихся по цвету как от звезд сравнения, так и от звезд, по которым строились характеристические кривые, можно считать, что полученные "желтые" величины соответствуют звездным величинам в системе V с точностью до нескольких сотых звездной величины.

При наблюдениях переменных снимки в желтом и синем фильтрах чередовались, повторяясь примерно через пять минут. Большое количество снимков позволило вычислить средние точки для наблюдений, полученных в течение каждой ночи. В среднюю точку объединялись результаты измерения блеска переменных на трех соседних снимках, сделанных в одном фильтре. Полученные данные разностей блеска Δm переменных и соответствующих звезд сравнения приведены в таблице 3 и 4 для наблюдений в желтом и синем фильтрах соответственно. В первом столбце приведены значения юлианской даты для средней точки, во втором — средние значения разности блеска переменной EQ Сер и звезды сравнения № 31, в третьем — средние значения разности блеска переменной ER Сер и $1/3$ суммы звездных величин звезд сравнения № 116, 124, 125; в четвер-

том (таблица 4) — средние значения разности блеска переменной ES Cep и полусуммы звездных величин звезд сравнения MM 112 и 113.

Кривые блеска переменных, построенные с уточненными элементами, опубликованными в [3–5] приведены на рис. 4. Разными значками обозначены данные, полученные в различные ночи. Значения блеска

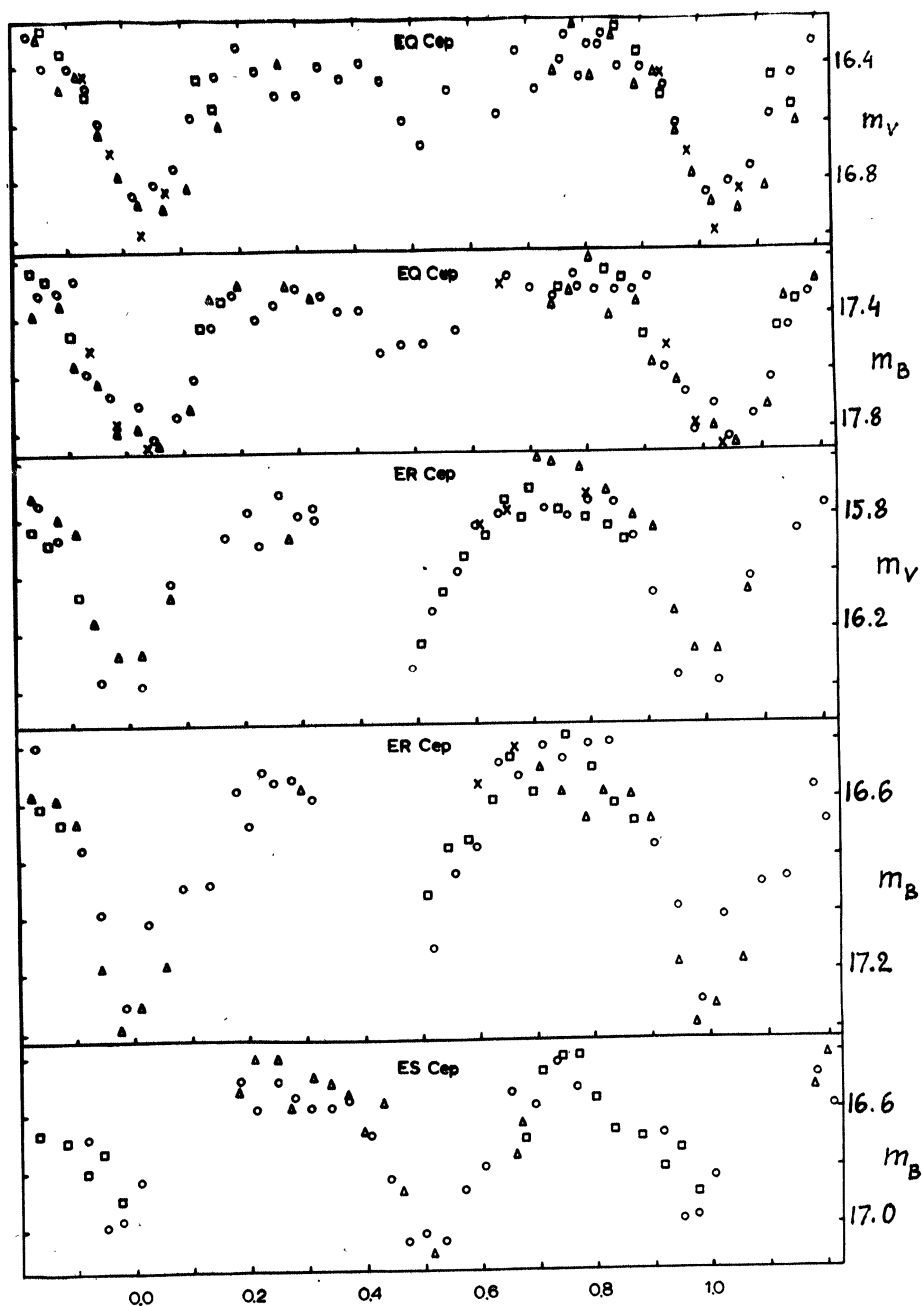


Рис. 4. Кривые блеска переменных EQ Cep, ER Cep, ES Cep. Разные значки соответствуют следующим датам наблюдений: крестики — 8, кружки — 11, квадратики — 12, треугольники — 13 ноября 1969 г.

(в системе V) и цвета (B-V) звезд в максимумах и минимумах, определенные по кривым, приведены в таблице 5. Неуверенные значения отмечены двоеточием.

Сравнение полученных данных с опубликованными ранее позволяет сделать некоторые выводы.

Таблица 5

J.D.☉	Δm_V EQ Cep	Δm_V ER Cep	J.D.☉	Δm_V EQ Cep	Δm_V ER Cep
2440534.269	+0 ^m .20	-0 ^m .19	2440537.580	0.25	
.295	0.47		.591	0.15	
.300	0.76		.602	0.21	
.312	0.60	-0.24	538.226	0.10	+0.29
537.288	0.01	-0.08	.236	0.07	+0.09
.299	0.10	-0.25	.247	0.13	-0.03
.308	0.06	-0.18	.258	0.39	-0.11
.316	0.17	-0.17	.268		-0.24
.329	0.17		.279		-0.26
.339	0.24		.295		-0.20
.348	0.38		.308		-0.16
.364	0.61	+0.36	.318	0.22	-0.14
.375	0.59	+0.16	.328		-0.09
.386	0.50	+0.20	539.429	0.19	+0.46
.396	0.34	-0.14	.440	0.02	+0.36
.408	0.20	-0.18	.449	0.21	+0.36
.419	0.09	-0.16	.462	0.06	+0.25
.430	0.18	-0.20	.474	0.24	+0.26
.441	0.27	-0.23	.484	0.19	-0.12
.452	0.27	-0.27	.495	0.69	+0.17
.464	0.17	-0.23	.505	0.54	+0.30
.474	0.21	-0.10	.516	0.64	+0.30
.485	0.16	-0.10	.530	0.66	+0.10
.496	0.22	+0.40	.545	0.58	
.509	0.36	+0.54	.558	0.37	
.517	0.43	+0.41	.591	0.14	-0.10
.531	0.26	+0.05	.602	0.19	-0.21
.557	0.33	-0.11	.612	0.11	
.568	0.12	-0.20			

Таблица 4

J.D.☉	Δm_B EQ Cep	Δm_B ER Cep	Δm_B ES Cep	J.D.☉	Δm_B EQ Cep	Δm_B ER Cep	Δm_B ES Cep
2440534 ^d .272	+0 ^m .52	-0 ^m .26		2440537 ^d .282	+0 ^m .28	-0 ^m .00	-0 ^m .37
.286	0.78			.294	0.27	-0.15	-0.07
.301	0.82			.303	0.28	-0.15	-0.08

Таблица 4
(продолжение)

J.D. _☉	Δm_B EQ Cep	Δm_B ER Cep	Δm_B ES Cep	J.D. _☉	Δm_B EQ Cep	Δm_B ER Cep	Δm_B ES Cep
2440537.313	+0 ^m .28	-0 ^m .09	-0 ^m .22	2440538 ^d .228	+0 ^m .24	+0 ^m .25	-0 ^m .35
.322	0 .28			.238	0 .25	+0 .09	-0 .59
.331	0 .25			.249	0 .43	+0 .06	-0 .63
.340	0 .56			.260	0 .19	-0 .08	-0 .94
.350	0 .65			.270		-0 .23	-0 .4 ^o
.365	0 .56			.281		-0 .10	-0 .38
.373	0 .84	+0 .44	-0 .57	.297		-0 .30	-0 .35
.384	0 .75	+0 .18	-0 .46	.310		-0 .19	-0 .25
.395	0 .60	+0 .08	-0 .56	.320	0 .40	-0 .07	-0 .32
.406	0 .41	-0 .21	-0 .51	.331	0 .32	-0 .01	-0 .17
.416	0 .30	-0 .16	-0 .47	539.428	0 .32	-0 .19	-0 .53
.428	0 .38	-0 .27	-0 .47	.437	0 .29	-0 .10	-0 .64
.438	0 .34	-0 .23	-0 .50	.448	0 .17	-0 .03	-0 .65
.450	0 .28	-0 .28	-0 .37	.459	0 .38	-0 .10	-0 .47
.462	0 .31	-0 .28	-0 .22	.472	0 .33	-0 .09	-0 .58
.472	0 .40	-0 .09	0 .00	.482	0 .54	-0 .01	-0 .55
.483	0 .30	+0 .08	-0 .03	.493	0 .00	+0 .50	-0 .51
.494	0 .51	+0 .30	0 .00	.503	0 .77	+0 .71	-0 .38
.506	0 .50	+0 .63	-0 .18	.514	0 .76	+0 .64	-0 .49
.518	0 .49	+0 .34	-0 .26	.526	0 .82	+0 .49	-0 .19
.534	0 .57	+0 .22	-0 .52	.542	0 .70		+0 .04
.548		+0 .22	-0 .47	.552	0 .31		
.562	0 .24	-0 .12	-0 .62	.568	0 .26		
.574	0 .28	-0 .28	-0 .53	.593	0 .37	-0 .12	-0 .30
.586	0 .31			.606	0 .31		-0 .41
.598	0 .23						

Таблица 5

	V				B-V			
	Max		Min		Max		Min	
	I	II	I	II	I	II	I	II
EQ Cep	16 ^m .43	16 ^m .35	16 ^m .90	16 ^m .80	0 ^m .89	0 ^m .93	0 ^m .95	0 ^m .90
ER Cep	15 .80	15 .71	16 .40	16 .30	0 .74	0 .77	0 .90	0 .80
ES Cep	16 .50	16 .45	16 .98	17 .05	—	—	—	—

Сравнение полученных данных с опубликованными ранее позволяет сделать некоторые выводы.

Кривая блеска EQ Cep в 1969 г. показывает ряд особенностей, не наблюдавшихся ранее. Так, главный минимум оказался смещенным на 0.04 периода по сравнению с вычисленным. Момент наблюдавшегося нами минимума, определенный по наблюдениям, сделанным в течение трех ночей, равен:

$$\text{Min} = \text{J.D. } 2440537^{\text{d}}.372 \pm 0^{\text{d}}.002 .$$

Амплитуда блеска EQ Сер в желтых лучах составляет $\Delta m_v = 0^{\text{m}}.5$, что существенно меньше, чем по наблюдениям Шарова и Холопова и Эггена ($0^{\text{m}}.8$ в первом случае и $0^{\text{m}}.75$ во втором) [5–7]. Согласно нашим наблюдениям, блеск звезды в максимуме уменьшился, а в минимуме слегка увеличился. Форма кривой блеска имеет особенности, заключающиеся в том, что 1) вторичный минимум очень неглубокий (правда, по наблюдениям в течение всего одной ночи); 2) в максимуме, следующем за главным минимумом (максимум I), звезда слабее, чем в максимуме, следующем за вторичным минимумом (максимум II), в видимой области на $0^{\text{m}}.08$ и в синей области на $0^{\text{m}}.04$, причем, максимум I имеет плоскую вершину.

Средний показатель цвета, равный $+0^{\text{m}}.93$, не сильно отличается от показателя цвета, полученного ранее ($+0^{\text{m}}.90$) [5–7]. Заметно небольшое изменение цвета с периодом: звезда краснее во время вторичного максимума и главного максимума.

Перечисленный ряд особенностей кривой блеска EQ Сер позволяет сделать вывод о том, что с момента последних ее наблюдений в 1967 г. [5] в двойной системе произошли изменения, по-видимому, связанные с истечением материи. Произошло ли это путем однократного выброса или медленного истечения — сказать трудно. Характерный вид кривой блеска указывает на наличие в двойной системе активной области (или "горячего пятна"), подобной активным областям, наблюдавшимся у ряда звезд этого типа [12].

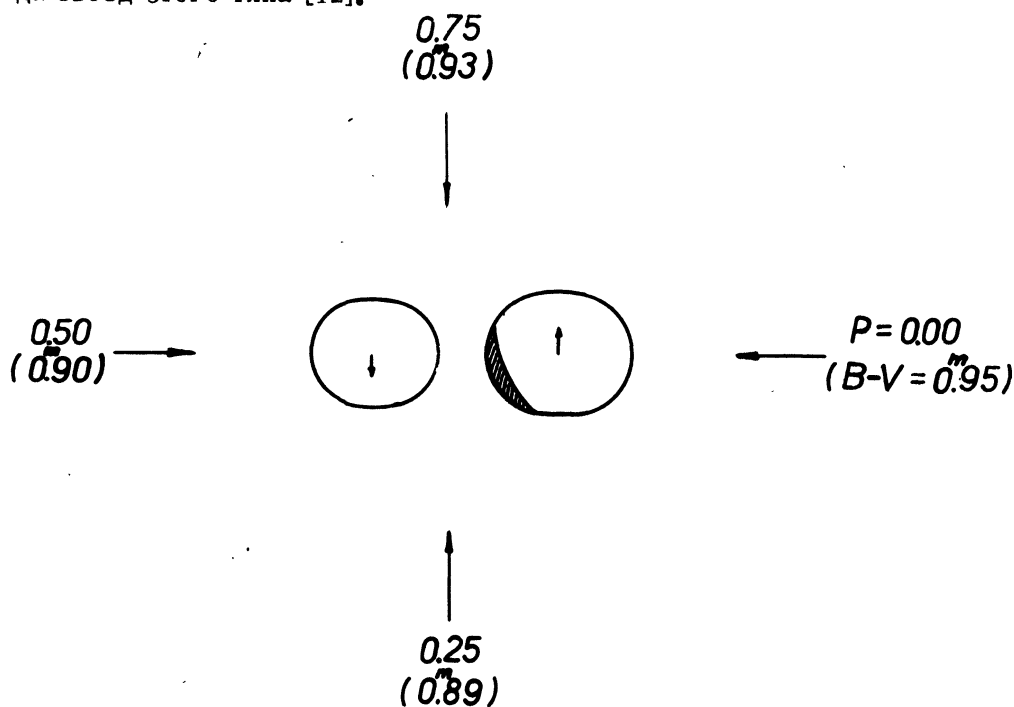


Рис. 5. Схема расположения активной области в системе EQ Сер по наблюдениям 1969 г.

Можно сделать предположение, что "горячее пятно" расположено на поверхности главного компонента вблизи первой точки Лагранжа, несколько асимметрично относительно оси двойной системы. Схематически это показано на рис. 5; активная область заштрихована. Цифры сверху показывают фазу блеска, при которой звезда видна с указанного стрелкой направления, цифры внизу в скобках соответствуют значениям показателя цвета $B-V$, определенного при этой фазе. Звезда голубее во время максимума I и вторичного минимума; в это время, по-видимому, видна активная область.

Исходя из опубликованных теорий движения вещества в тесных двойных системах [13–15], нам кажется приемлимым следующий механизм. Возможно, предела Роша достиг второй компонент; вытекающая из него вблизи первой точки Лагранжа материя частично попадает на поверхность главного компонента, разогревает ее и образует "горячее пятно". Частично же она рассеивается в пространстве, окружающем звезды. В данном случае, по-видимому, большая часть поглощающей материи расположена впереди вторичного компонента и позади главного. Повышенное поглощение в данной части оболочки приводит к различной величине максимумов кривой блеска.

Поскольку звезда EQ Сер показала особенности, интересно привести также результаты обработки телевизионных снимков скопления, полученных 24 апреля 1968 г. [6]. Снимки сделаны на той же телевизионной установке и на том же телескопе, но без фильтра. Обработка их была проведена старшим научным сотрудником института астрофизики АН Тадж.ССР О. П. Васильяновской методом глазомерных оценок и любезно прислана нам. Для калибровки использовались фотовизуальные величины звезд скопления. Результаты оценок блеска переменной на соседних 10 снимках усреднялись. Однако, полученная точность невысока, т. к. звезда находилась на пределе видимости. В таблице 6 для средних точек приведены моменты наблюдений и звездные величины переменной. На рис. 6 представлена средняя кривая блеска, вычисленная с элементами [5]. Вертикальными линиями показана величина ошибок. Момент наблюдаемого минимума хорошо совпадает с вычисленным. Обращает на себя внимание весьма большая амплитуда изменения блеска звезды, равная $1^m.1$. По-видимому, эта звезда действительно нестационарна.

Таблица 6

J.D. $\odot$ 24	m_{pV}	J.D. $\odot$ 24	m_{pV}	J.D. $\odot$ 24	m_{pV}
39971.319	$16^m.97$	39971.391	16.82	39971.449	$17^m.28$
.333	16.50	.405	16.82	.462	16.93
.347	16.49	.419	17.28	.476	16.43
.360	16.51	.433	17.65	.496	16.49
.376	16.49				

Для двух других звезд (ER Сер и ES Сер) нашими наблюдениями представлены не все фазы их кривых блеска, поэтому значения блеска в

максимумах и минимумах определены с меньшей точностью. Для ER Сер средние величины V и B в максимуме и минимуме блеска хорошо согласуются с данными фотоэлектрических наблюдений Эггена [7]. Характер изменения цвета $B-V$ с фазой по нашим наблюдениям такой же, как у Эггена; правда, в 1969 г. звезда в максимуме несколько синее. Возможно, это влияние однократного увеличения блеска звезды в синей области спектра и уменьшения в видимой области во вторичном максимуме, наблюдавшемся в ночь с 13 на 14 ноября (см. рис. 4).

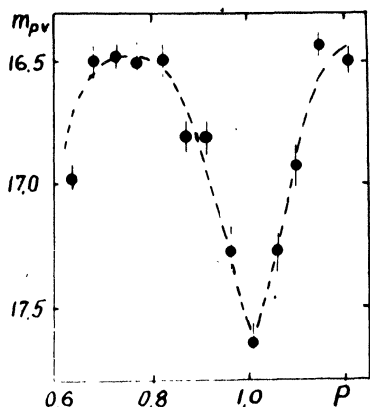


Рис. 6. Кривая блеска EQ Сер по наблюдениям 24 апреля 1968 г.

Для ES Сер значения B в максимуме и минимуме близки к данным Холопова и Шарова [3] и на $0^m.1 - 0^m.2$ больше, чем данные, приведенные Эггеном [7].

В заключение авторы благодарят сотрудника Крымской астрофизической обсерватории В. А. Бурнашова за проведенные им фотоэлектрические измерения яркости свечения ночного неба, ст. н. сотр. Института астрофизики АН Таджикской ССР О. П. Васильяновскую за проведенные ею оценки блеска переменной, а также сотрудников КрАО ст. инженера А. Н. Абраменко и лаборанта Дабахова за помощь в осуществлении наблюдений.

Литература

1. Yu. N. Efremov, P. N. Cholopov, B. V. Kukarkin, A. S. Sharov, Comm. 27 of I. A. U. Inf. Bull. on Variable Stars N 75, 1964.
2. П. Н. Холопов, А. С. Шаров, АЦ № 377, 1966.
3. П. Н. Холопов, А. С. Шаров, АЦ № 426, 1967.
4. П. Н. Холопов, А. С. Шаров, АЦ № 434, 1967.
5. П. Н. Холопов, А. С. Шаров, АЦ № 452, 1967.
6. А. Н. Абраменко, Л. Ф. Истомин, В. В. Прокофьева, Изв. КрАО 41-42, 388, 1970.
7. O. J. Eggen, A. Sandage, ApJ 158, N 2, pt. 1, 669, 1969.

8. А. Н. Абраменко, АИ № 555, 1970.
9. А. Н. Абраменко, В. В. Прокофьева, Изв КрАО 36, 289, 1967.
10. A. Sandage, ApJ 135, 333, 1962.
11. А. Н. Абраменко и др, Изв КрАО 33, 315, 1964.
12. L. Binnendijk, Kleine Veröffentlichungen der Remeis-Sternwarte Bamberg, Nürnberg, Bd. IV, N 40, 36, 1965.
13. Ю. Коровяковский, Астрофизика, 5, № 1, 67, 1969.
14. N. Gould, AJ 64, 136, 1959.
15. O. Struve, Sky and Tel., 17, N 2, 70, 1957.

Крымская астрофизическая
обсерватория АЧ СССР
сентябрь, 1970 г.