

Кривые блеска звезд типа RV Тельца с постоянным средним блеском

Г. Е. Ерлексова

Рассмотрены кривые блеска 19 звезд типа RV Тау, построенные по фотоэлектрическим, фотографическим и визуальным наблюдениям. Форма кривых блеска оценивалась по относительному числу индивидуальных циклов формального периода трех видов: типичных RV Тау, β Лyr-подобных и цефеидообразных. Вычислены средние квадратичные отклонения звездной величины в экстремумах блеска от соответствующих средних значений. Большими неправильностями кривых блеска выделяется группа долгопериодических звезд типа RV Тау с периодами более 113 дней. При сопоставлении формы кривых блеска, их амплитуд, нестабильности величины в экстремумах блеска и числа перестановок главных и вторичных минимумов всех остальных звезд (с периодами до 89 дней) подмечены различия между звездами спектроскопических групп А, В, С по разделению Престона, Кжеминского, Смака и Вильямса (1963).

Light Curves of RV Tauri Stars with Constant Mean Brightness

by G. E. Erle k so va

The light curves of 19 RV Tauri were examined. Photoelectric, photographic and visual observations were used for constructing the light curves. The light curve form is estimated by the dominant number of the individual cycles of the one of three types: typical for RV Tauri stars, β Lyr-like and cepheid-like. The mean square deviations of the stellar magnitudes at light extrema from corresponding mean values were calculated. The stars with periods more than 113 days are remarkable by the large irregularities of their light curves. The distinctions between the stars of groups A, B, C (according to the spectroscopic identification by G.M.Preston, W.Krzeminski, J.Smak and J.A.Williams) were obtained during the comparison of the light curve forms, light amplitudes, instabilities of magnitudes at light extrema and the number of interchanges. These distinctions are real for stars with periods to 89 days.

Кривые блеска звезд типа RV Tau являются важнейшим критерием отнесения их к данному типу переменности. Однако, характерное изменение блеска звезд типа RV Tau с чередованием глубоких и мелких минимумов в деталях весьма разнообразно у разных представителей этого типа и даже у одной и той же звезды в различные интервалы времени. Изменение блеска и нарушение ритмов колебаний в общих чертах описаны В.П.Цесевичем (1970) на основе позднейших наблюдательных данных. Цель данной работы состоит в том, чтобы рассмотреть особенности кривых блеска звезд типа RV Tau с постоянным средним блеском и выяснить, имеются ли существенные различия у звезд с различными спектральными характеристиками. Выяснить, каковы особенности и различия кривых блеска звезд, принадлежащих к разным группам по спектроскопическому разделению Престона, Кжеминского, Смака и Вильямса (1963), казалось тем более интересным, что в нашей предыдущей работе (1971) обнаружилось количественные различия в изменениях периодов звезд этих групп.

Общеизвестно, что звезды типа RV Tau представляют неоднородную группу, в частности, в отношении принадлежности к типу населения. Общепринятых критериев принадлежности к типу населения звезд типа RV Tau не имеется, и нет единого мнения о принадлежности к определенному типу населения большинства отдельных звезд этого типа. Рассматривая кривые блеска, мы также имели в виду выяснить, не будут ли особенности кривых блеска одним из критериев принадлежности к типу населения.

В работе Престона и др. (1963) в виде предварительного вывода высказано мнение, что между группами нет существенного различия в форме кривых блеска. Это изучение основано на точных фотоэлектрических наблюдениях, но охватывающих небольшой интервал времени (один — два цикла формального периода), а известно, что одна и та же звезда с течением времени может значительно менять форму кривой блеска. О трудности суждения о форме и неустойчивости кривых блеска звезд типа RV Tau можно судить, например, по достаточно обеспеченным наблюдениям EP Lyr. Венцель (1961a, 1961b) считает EP Lyr затменной типа β Lyr, указывая на стабильность кривой блеска, за исключением главного минимума. Большинство исследователей считают ее типичной звездой типа RV Tau. А.Ажусенис и К.Здавичюс (1962) в противоположность Венцелю нашли главный минимум стабильным, а положение и величину остальных экстремумов блеска неустойчивыми. Даже квалифицированная дискуссия Престона и др. (1963), утверждая мнение о пульсационной интерпретации EP Lyr, оставляет возможность для двойной модели. Для уверенного заключения об особенностях кривых блеска необходимо рассматривать длительные ряды наблюдений. Не претендуя на исчерпывающее решение вопроса о кривых блеска звезд типа RV Tau, мы попытались сравнить их между собой и сопоставить со спектроскопическими группами.

Для данного рассмотрения кривые блеска были построены по всем доступным нам фотоэлектрическим, фотографическим и визуальным наблюдениям для 19 звезд. Для 15 из них были сделаны оценки блеска по душанбинским пластинкам (в общей сложности 10000 оценок). Числа оценок по несенсибилизированным и панхроматическим пластинкам для каждой звезды приведены в предпоследнем и последнем столбцах (N_1 и N_2) таблицы 1. Сведения об использованных нами звездах сравнения сообщены в первой части работы (Ерлексова, 1971). Кривые блеска рассматривались по индивидуальным циклам формального периода. Не вдаваясь в дискуссию, насколько название формальный период соответствует реальности, будем следовать этому общепринятому понятию. От построения средних кривых блеска мы отказались. Изменения амплитуды, периода и формы кривой блеска от цикла к циклу, а также перемена местами главного и вторичного минимумов, которую не всегда можно зафиксировать, вносят в среднюю кривую долю случайности и делают ее ненадежной характеристикой. В длительных рядах наблюдений обнаруживается разнообразие форм индивидуальных циклов формального периода даже у одной и той же звезды в разное время, не говоря уже о разных звездах. Однако, все индивидуальные циклы условно можно подразделить на три вида: типичные для звезд типа RV Tau (глубокий минимум — высокий максимум — мелкий минимум — низкий максимум), β Lyr — подобные (соседние главные минимумы приблизительно одной величины, главный и вторичный максимумы также одной величины и более или менее симметричны) и цефеидообразные (главный и вторичный минимумы почти одинаковой глубины). Будем обозначать их сокращенно RV, β и δ соответственно. Приняв такое разделение циклов по форме, мы решили характеризовать кривую блеска относительным числом циклов того или иного вида. Эта характеристика отражена в четвертом столбце табл. 1, где приведено количество циклов в процентах. В пятом столбце табл. 1 приведено общее число рассмотренных циклов, форма которых поддавалась определению. Два цефеидообразных цикла, каждый из которых представляет полуцикл, считаются одним циклом формального периода.

Таблица 1

Период	Группа	Распределение по циклам (в %)	Количество циклов	A_{pg}	A_{vis}	Π	N_1	N_2
EZ Aql 38. ^d 61	A	40 RV 52 β 8 δ	25	1. ^m 8	2. ^m 2	0		
EQ Cas 58.358	B?	47 RV 12 β 41 δ	25.5	1.8	1.4	1		

Таблица 1
(продолжение)

Период	Группа	Распреде- ние по цик- лам (в %)	Количество циклов	A_{pg}	A_{vis}	Π	N_1	N_2
TT Oph 61. ^d 08	A	24 RV 22 β 54 δ	46	1. ^m 9	1. ^m 5	10	381	51
AD Aql 65.4	B?			0. 8:	0. 6	?	336	
RX Cap 67.92	A	18 RV 56 β 26 δ	21.5	1. 9	1. 3	2		
V360 Cyg 70.449	C	31 RV 31 β 38 δ	13	1. 4	1. 2	?	419	32
AC Her 75.4619	B	78 RV 14 β 8 δ	93	1. 3	1. 15	0	991	90
V Vul 75.72	A	30 RV 66 β 4 δ	85.5	1. 6	1. 1	11	1267	128
DS Aqr 78.213	B?			1. 4	0. 8	2:	467	66
V453Oph 81.8	C	76 RV 24 δ	14.5	1. 4	1. 05	1	574	64
EP Lyr 83.43	B	64 RV 34 β 2 δ	18	1. 1	0. 7	0	832	37
TW Cam 86.26	A			1. 0	0. 6	?	218	
UZ Oph 87.44	A	29 RV 50 β 21 δ	34	2. 2	1. 9	11	628	95
AR Sgr 87.87	A	27 RV 24 β 49 δ	37. 5	2. 3	1. 9	12	658	
SS Gem 89.13	A	53 RV 18 β 29 δ	39.5	1. 16	0. 74	8	177	
AZ Sgr 113.6		67 RV 18 β 15 δ	16.5	1. 6:	1. 3:	1		
DY Aql 131.42	A	37 RV 21 β 42 δ	24	1. 54	1. 76	7	567	58
TX Oph 135	A	58 RV 18 β 27 δ	27.5	1. 9	1. 4	15	488	99
R Sct 141.1	A	63 RV 21 β 16 δ	55	1. 8	1. 6	11	1166	103

Важнейшая характеристика кривой блеска амплитуда вычислялась как среднее из определений разных авторов. При этом бóльший вес придавался амплитудам, которые были определены исследователями как разность средних величин главных минимумов и главных максимумов. Такой же вес придавался амплитудам из фотоэлектрических наблюдений. Амплитуды в фотографических и визуальных лучах приведены в шестом и седьмом столбцах табл. 1. О степени надежности амплитуд можно судить по числу главных минимумов и главных максимумов столбцы n_1 и n_3 табл. 2).

Одной из важных характеристик кривых блеска звезд типа RV Tau является нестабильность звездной величины в экстремумах блеска. Были вычислены средние квадратичные отклонения величины одного экстремума от соответствующей средней величины: $\sigma_{min I}$, $\sigma_{min II}$, $\sigma_{max I}$ и $\sigma_{max II}$. Вторичные по фазе минимумы цефеидообразных циклов, одинаковые по глубине с главными, использовались при вычислении $\sigma_{min I}$, а не $\sigma_{min II}$. Значения $\sigma_{min I}$, $\sigma_{min II}$, $\sigma_{max I}$, $\sigma_{max II}$ приведены в табл. 2. В столбцах n_1 , n_2 , n_3 и n_4 указано число использованных экстремумов. Отмеченные звездочкой σ означают отклонения, вычисленные без разделения минимумов и максимумов на главные и вторичные, ибо в этих случаях большинство экстремумов не поддается классификации. Значения средних квадратичных отклонений вычислялись отдельно по рядам экстремумов каждого автора, а затем осреднялись с учетом числа экстремумов. Ряды экстремумов разных авторов можно считать сравнимыми.

Таблица 2

		$\sigma_{min I}$	n_1	$\sigma_{min II}$	n_2	$\sigma_{max I}$	n_3	$\sigma_{max II}$	n_4
EZ	Aql	0. ^m 16	65	0. ^m 19	70	0. ^m 13	73	0. ^m 15	74
EQ	Cas	0. 17	60	0. 17	36	0. 11	70	0. 11	72
TT	Oph	0. 16	100	0. 21	41	0. 15	29	0. 13	18
AD	Aql	0. 11*	34			0. 09*	36		
RX	Cap	0. 24	25	0. 16	29	0. 12	25	0. 11	26
V360	Cyg	0. 15:	29			0. 18*	39		
AC	Her	0. 10	215	0. 11	171	0. 15	145	0. 13	122
V	Vul	0. 19	236	0. 16	206	0. 10	332	0. 10	312
DS	Aqr	0. 09:	15	0. 16:	6	0. 11:	7	0. 13	7
V453	Oph	0. 05	14	0. 16	8	0. 05	18	0. 08	8
EP	Lyr	0. 09	69	0. 08	29	0. 07	39	0. 09	33
TW	Cam	0. 13*	41			0. 10*	31		
UZ	Oph	0. 25	43	0. 20	31	0. 13	41	0. 09	30
AR	Sgr	0. 25	63	0. 25	20	0. 12	46	0. 15	38
SS	Gem	0. 14	65	0. 07	21	0. 08	36	0. 08	18
AZ	Sgr	0. 20	14	0. 11	9	0. 11	15	0. 12	9
DY	Aql	0. 18	52	0. 21	26	0. 19	45	0. 20	23
TX	Oph	0. 31	47	0. 14	22	0. 12	35	0. 11	31
R	Sc t	0. 43	151	0. 22	110	0. 16	81	0. 19	101

После того как определены характеристики кривых блеска, рассмотрим всю группу звезд типа RV Tau с постоянным средним блеском в совокупности. При взгляде на всю группу в целом обращают на себя внимание большими неправильностями кривых блеска все звезды с периодами более 113 дней. Если у остальных звезд (их периоды не превышают 89 дней) индивидуальные циклы RV, β и δ соответственно схожи, то у долгопериодических звезд часты сильно искаженные циклы. Искажение выражается, например, и в том, что в некоторых циклах формального периода невозможно отметить вторичный минимум, или же за главным минимумом следует низкий максимум, а за мелким — высокий. У долгопериодических звезд наблюдаются интервалы продолжительностью в период и более, когда периодичность нарушается, и блеск на уровне максимального изменяется незначительно или почти постоянен. У звезд с периодами до 89^d мы не могли с полной уверенностью зафиксировать ни одного подобного интервала с постоянством блеска или неправильным его изменением. По средним квадратичным отклонениям величины экстремумов блеска также видно, что у звезд с $P \geq 113^d$ нестабильность кривых блеска больше, чем у остальных звезд. Из четырех долгопериодических звезд три принадлежат к группе А, группа малоизученной звезды AZ Sgr не определена.

В группе звезд с $P \leq 89^d$ с достаточно устойчивыми циклами можно видеть, что у звезд, уверенно принадлежащих к группе В, в кривых блеска преобладают RV-циклы. Иногда встречаются циклы со слабо выраженным вторичным минимумом. Эти циклы похожи на кривые блеска долгопериодических цефеид сферической составляющей с большими периодами первой группы по нашему с О.П.Васильяновской (1966, 1970, 1971) разделению. У звезд группы А преобладают β или реже δ -циклы, за исключением SS Gem, у которой половина всех циклов RV и треть δ -циклы. Группа SS Gem в табл. 1 отмечена звездочкой; это означает, что по мнению Престона и др. (1963) SS Gem может принадлежать к группе В. Две звездочки в третьем столбце табл. 1 означают принадлежность к ранним членам данной группы. Спектрально звезды группы С отличаются от звезд группы В лишь отсутствием полос поглощения CN и CH. Казалось бы, звезды этих групп должны быть похожими по фотометрическому поведению. Действительно, кривая блеска V453 Oph, одной из звезд группы С, подобна кривой блеска AC Her, наиболее изученного представителя группы В. У V360 Cyg, другой звезды группы С, распределение по циклам RV, β и δ равномерное. Однако, обе звезды группы С, особенно V360 Cyg, изучены недостаточно. Несколько слов о DS Aqr. В списке Престона и др. она отсутствует. Принадлежность DS Aqr к спектроскопической группе установлена нами не вполне уверенно. Для ее установления использованы оценки спектра по четырем спектрограммам Поппера (1956) (все F2 II) и фазовые запаздывания $\Delta\phi_1 = \phi(V) - \phi(B-V)$ и $\Delta\phi_2 = \phi(B-V) - \phi(U-B)$, оцененные по фотоэлектрическим наблюдениям Чугайнова, 1966 и указывающие на группу В или С. Полных циклов

у DS Aqr наблюдалось мало, и потому распределение по циклам не приведено. По средним фотографическим кривым блеска трех авторов (Анерт, 1959; Филин, 1962; Ерлексова, 1969) можно заключить, что преобладают δ -циклы. Однако, средняя кривая блеска по фотоэлектрическим наблюдениям подобна кривой блеска AC Her.

Характеристика кривой блеска по распределению индивидуальных циклов по видам при малом числе циклов может вызывать сомнения относительно целесообразности ее применения вообще. Однако, две наиболее изученные звезды V Vul и AC Her групп A и B соответственно, периоды которых отличаются лишь долями дня, отчетливо демонстрируют явное преобладание в первом случае β -циклов (две трети) и во втором случае RV-циклов (три четверти). Общее число циклов составляет около 90 у каждой. Отсюда, оценка кривой блеска по распределению циклов кажется приемлемой, все дело лишь в количестве наблюдаемого материала.

Качественно общеизвестен факт, что у звезд типа RV Tau звездная величина в максимуме блеска подвержена меньшим колебаниям, чем в минимуме. При количественном подходе к этому факту на основании вычисленных нами средних квадратичных уклонений звездной величины в экстремумах блеска выявляется, что у звезд группы A действительно $\sigma_{\max}$ меньше, чем $\sigma_{\min}$, у звезд же групп B и C эти величины почти одинаковы (исключение E Q Cas), а у AC Her, классического представителя группы B, величина $\sigma_{\max}$ даже больше, чем $\sigma_{\min}$.

Известно мнение, что неустойчивость кривых блеска звезд типа RV Tau увеличивается с увеличением периода. При рассмотрении кривых блеска звезд нашего списка с периодами до 89^d не наблюдается значительного искажения циклов с увеличением периода, хотя, может быть, все-таки есть незначительное отклонение формы RV, β и δ -циклов от той, которая представляется нам "идеальной". Относительно неустойчивости звездной величины в экстремумах блеска заключаем вполне определенно, что с увеличением периода она не увеличивается. Это можно видеть из рис. 1. Даже наоборот, из того же рис. 1 можно усмотреть едва заметное уменьшение $\sigma_{\min}$ с увеличением P, остающееся, однако, в пределах ошибок наблюдений. На рис. 1 точками нанесены звезды группы A, кружками — B, квадратиками — C, крестиком — AZ Sgr; $\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$ представляют средние значения из главных и вторичных экстремумов. Не обнаруживая отчетливой зависимости от периода, $\sigma_{\min}$ коррелируют с амплитудой блеска, что можно видеть из вис. 2. Неустойчивость величины в экстремумах блеска у звезд групп B и C в общем меньше, чем у группы A. Это следует из табл. 2 и рис. 1 и 2, из которых видно, что $\sigma_{\max}$ всех групп в среднем одинаковы, а $\sigma_{\min}$ у звезд групп B и C явно меньше, чем у группы A.

Судя по рис. 1 и 2, не следует ожидать корреляции между амплитудой блеска и периодом, тем не менее сопоставим эти величины. На рис. 3 нанесены фотографическая и визуальная амплитуды блеска против логарифма периода. Для всех звезд в целом действительно нет

корреляции между амплитудой и периодом, но нельзя не видеть, что в основной группе звезд с $P \leq 89^d$ амплитуды уменьшаются с увеличени-

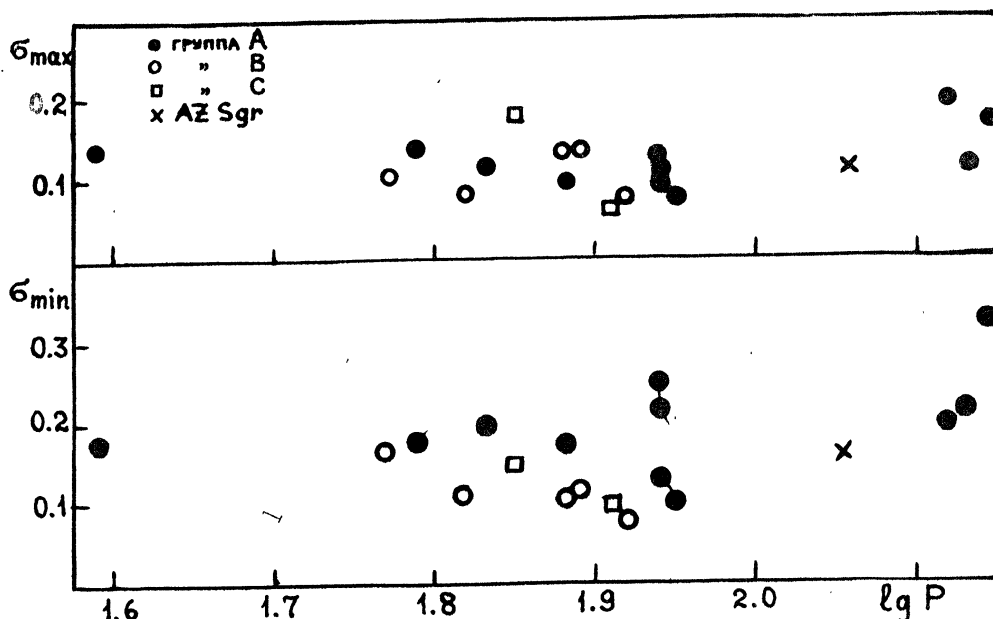


Рис. 1

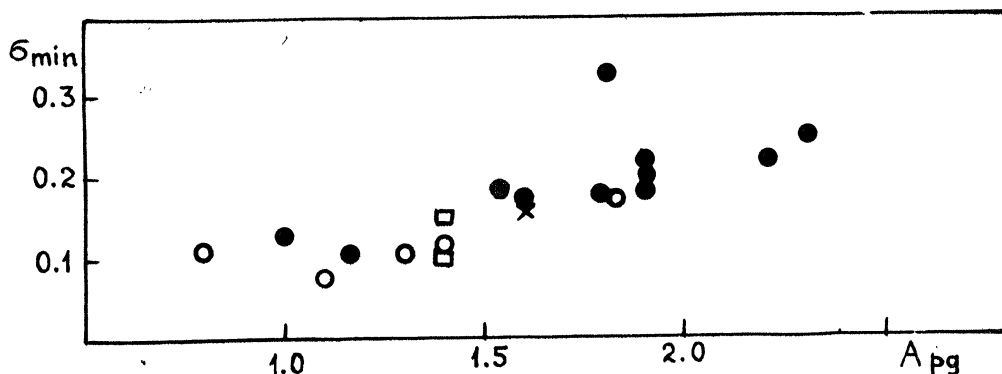


Рис. 2

ем периода, за исключением UZ Oph и AR Sgr. Можно было ожидать уменьшения амплитуды блеска с увеличением периода у звезд типа RV Tau в шаровых скоплениях, судя по найденным Стотерсом (1963) зависимостям период-светимость и амплитуда блеска-светимость. Однако, сам Стотерс высказывает мнение, что, по-видимому, корреляции между амплитудой и периодом нет. Звезды типа RV Tau в шаровых скоплениях исследованы совершенно недостаточно, и на их амплитуды блеска полностью полагаться нельзя. Амплитуды звезд поля также оставляют желать лучшего: не у всех звезд средние величины главных максимумов и минимумов определены уверенно. Окончатель-

ному выяснению вопроса об амплитудах поможет лишь дальнейшее их уточнение. На основании имеющегося материала с уверенностью можно заключить, что у звезд группы А амплитуды блеска больше, чем у звезд групп В и С. Из рис. 2 видно, что амплитуды звезд групп В и С, за исключением одной, $\leq 1^m.4$; амплитуды звезд группы А, за исключением двух, $\geq 1^m.5$.

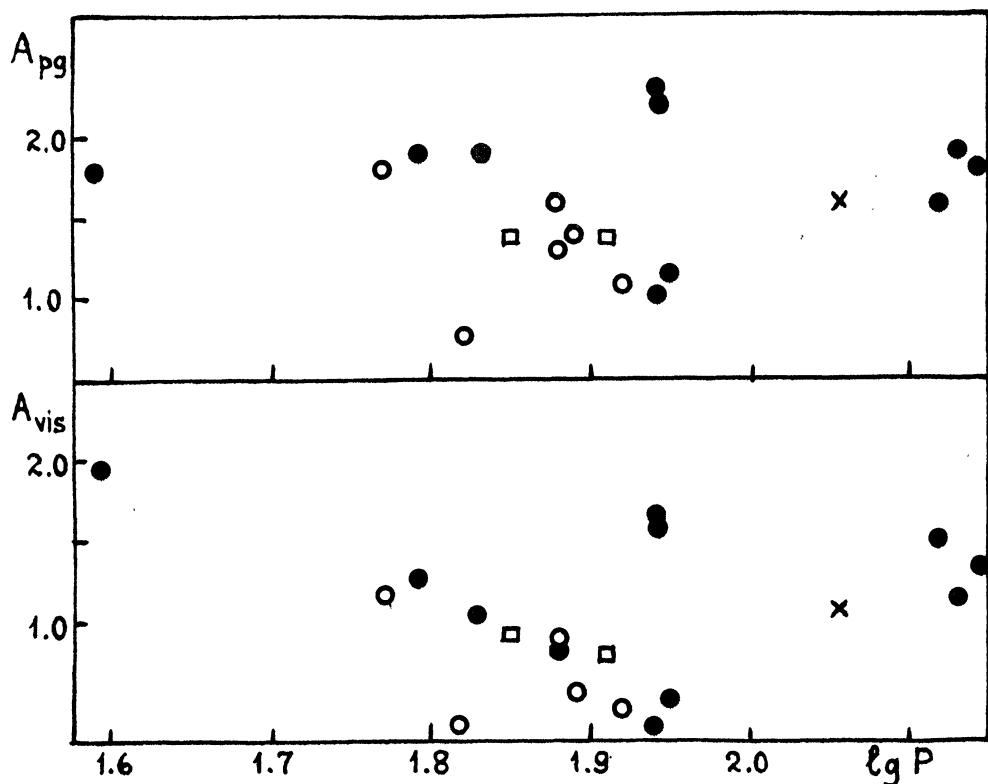


Рис. 3

Как уже выяснилось ранее, звезды групп В и С вместе с меньшими амплитудами блеска показывают меньшую нестабильность величины экстремумов блеска по сравнению со звездами группы А. Большая устойчивость кривых блеска звезд групп В и С выражается и в том, что у них перестановки минимумов редки или вовсе отсутствуют. Все звезды группы А обнаруживают по несколько перестановок. Исключение представляет не обнаружившая ни одной перестановки EZ Aql с самым коротким периодом. Число перестановок приведено в восьмом столбце (П) табл. 1.

В данного рода исследованиях нередко встречаются объекты, которые удовлетворяют одним найденным закономерностям и противоречат другим. В нашем случае такой противоречивой звездой является SS Gem. По форме кривой блеска и по малости амплитуды блеска она похожа на звезды группы В. По большому числу перестановок и по соотношению $\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$ SS Gem соответствует группе А. По не-

стабильности периода (Ерлексова, 1971) она располагается на границе между группами А и В. В связи с этим SS Gem заслуживает особого внимания.

Что касается сопоставления особенностей кривых блеска с принадлежностью к типу населения, то пока ясности в этом вопросе не достигнуто. По небольшим лучевым скоростям и нестабильности периодов звезды группы В должны принадлежать к плоской или, по крайней мере, более плоской по сравнению со звездами группы А подсистеме, и все отличительные особенности кривых блеска в некоторой степени могут являться признаками принадлежности к этим подсистемам. Для уверенного заключения по этому вопросу прежде всего необходимо точно установить тип населения изученных нами звезд, для чего рассмотренных здесь характеристик недостаточно.

Подводя итоги вышеизложенному, отметим основные наблюдательные факты.

1. Из 19 изученных звезд типа RV Tau с постоянным средним блеском и периодами от 39 до 141 дня большими неправильностями кривых блеска выделяются все звезды с периодами более 113 дней.

2. В группе остальных звезд с периодами до 89 дней выявленные особенности кривых блеска хотя и не образуют четких зависимостей, но обнаруживают определенные тенденции, а именно следующие:

а). У звезд группы А преобладающим видом индивидуальных циклов кривых блеска являются β Lyr — подобные или цефеидообразные; у звезд групп В и С — типичные RV-циклы.

б). У звезд группы А нестабильность звездной величины в минимумах блеска более значительна, чем в максимумах; у звезд групп В и С — почти одинакова, а у AC Her, наиболее изученного представителя группы В, нестабильность величины минимумов даже менее значительна, чем максимумов. В общем, нестабильность величины в экстремумах блеска звезд группы А больше, чем групп В и С.

в). Средние квадратичные отклонения звездной величины экстремумов блеска не коррелируют с периодом.

г). Обнаруживается корреляция между величиной $\sigma_{\min}$ и амплитудой блеска.

д). Амплитуды блеска звезд группы А больше, чем групп В и С.

е). Звезды группы А обнаруживают по несколько перестановок главных и вторичных минимумов: у звезд групп В и С они редки или вовсе отсутствуют.

Литература:

- Ажусенис А., Здававичюс, 1962, Вильнюс бюлл № 4.
 Анерт, 1959 — Ahnert P., MVS 412.
 Васильяновская О.П., Ерлексова Г.Е., Тадж бюлл № 48, 1966;
 № 54, 1970; № 57, 1971.
 Венцель, 1961a — Wenzel W., IBVS 1.
 Венцель, 1961b — Wenzel W., MVS 586—588.

- Ерлексова Г.Е., 1969, ПЗ 16, 663.
 Ерлексова Г.Е., 1971, ПЗ 18, №1, 53.
 Поппер, 1956 – Popper D.M., PASP 68, 131.
 Престон, Кжеминский, Смак, Вильямс, 1963 – Preston G.M.,
 Krzeminski W., Smak J., Williams J.A., ApJ 137, 401.
 Стотерс, 1963 – Stothers R., AJ 68, 242.
 Филин А.Я., 1962, Тадж бюлл 31.
 Цесевич В.П., 1970, Пульсирующие звезды, гл. 4, изд. Наука, Москва.
 Чугайнов П.Ф., 1966, ПЗ 16, 87.

Институт астрофизики
 АН Таджикской ССР,
 Душанбе

Поступила в редакцию
1 июня 1971 г.