

МИКРОПЕРЕМЕННОСТЬ И БЫСТРАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ ЗВЕЗД. II. ПОЛУПРАВИЛЬНЫЕ КРАСНЫЕ ГИГАНТЫ: L_2 Pup, 2 Cep, η Gem И σ Lib

Е.В.РУБАН, А.А.АРХАРОВ

Поступила 28 июня 2010

Принята к печати 8 сентября 2010

Проведено исследование результатов наблюдений фотометрических величин V_i и B_i из каталога Hipparcos 4-х полуправильных красных гигантов, L_2 Pup, 2 Cep, η Gem, σ Lib, спектральных классов M3-M6 III с целью поиска микропеременности и быстрой переменности их излучения. Показано, что низкоамплитудная переменность проявлялась в виде быстрых изменений в минимуме блеска основного цикла. У звезд 2 Cep и σ Lib величины менялись до $0^m.10-0^m.15$ в течение 15-20 мин. Изменения повторялись через интервалы времени, кратные 150-180 мин. У звезды L_2 Pup рассеяние величин составляло $0^m.02-0^m.06$ в течение суток. У звезды η Gem были обнаружены быстрые, за секунды, и частые, с интервалом <21 мин, увеличения блеска, вспышки, до $\sim 0^m.1$. Вспышки, предположительно, мог индуцировать гипотетический близкий спутник при максимальном сближении со звездой. При этом период обращения спутника был равен периоду пульсации звезды. Наличие такого спутника требует подтверждения.

Ключевые слова: *звезды:красные гиганты:фотометрия:переменность звезд*

1. **Введение.** Во второй части работы проведено исследование малых изменений блеска полуправильных переменных звезд типа SR: 2 Cep, L_2 Pup, η Gem и σ Lib. Исследования основаны на результатах фотометрических наблюдений в полосах V_i и B_i , представленных в каталоге Hipparcos [1].

2. **Информация о звездах.** В табл.1 приведена известная информация об исследуемых звездах в соответствии с данными каталогов [1,2]. В таблице для каждой звезды даны: название; номера по каталогам BS, HD и Hipparcos, HIP [1]; величина, V ; спектральный класс, Sp ; тип переменности, VAR ; диапазон изменения величины V , ΔV ; период изменения блеска, p ; период изменения блеска, p_* , полученный в работах [3,4] (оба периода в сутках, d).

Заметим, что, согласно данным таблицы, η Gem является не только физической переменной, но и затменной переменной типа EA, поэтому приведенные для нее изменения блеска, $\Delta V = 0^m.75$, определялись суммарным действием двух причин переменности: пульсациями и затмением.

Для звезды L_2 Pup величина $\Delta V = 3^m.6$, взятая из [2], не является амплитудой пульсаций, а охватывает диапазон изменения величины V за весь период (75 лет) наблюдений звезды. Звезда же после 1995г. начала "тускнеть",

как предполагается, из-за пылевого образования, попавшего на луч зрения [5]. Используемые в настоящей работе результаты наблюдений были получены в годы, предшествовавшие этому периоду, и их изменения отражают лишь пульсационные изменения наблюдаемых величин данной звезды.

Таблица 1

ДАННЫЕ О ЗВЕЗДАХ

Название	BS	HD	HIP	V, m	Sp	VAR	$\Delta V, m$	p, d	p_e, d
η Gem	2216	42995	29655	3.32	M3 IIIab	SRa+EA	0.75	232.9	
L_2 Pup	2748	56096	34922	5.9	M5-M6 IIIe	SRb	3.6	140	138
2 Cen	5192	120323	67457	4.19	M5 III	SRb	0.1	12	12.57
σ Lib	5603	133216	73714	3.30	M3.5 IIIa	SRb	0.26	20	

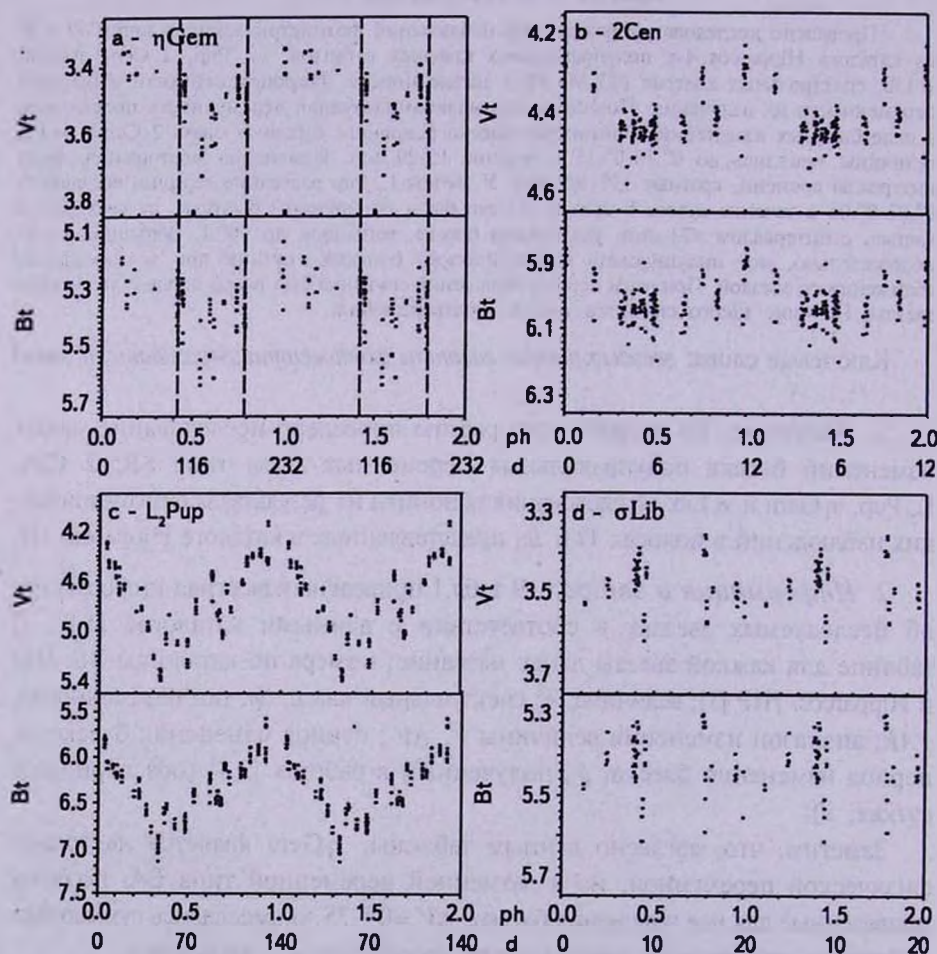


Рис.1. Величины V и B по данным каталога Hipparcos в различных фазах. ph , цикла для звезд: а - η Gem, б - 2 Cen, в - L_2 Pup, д - σ Lib. На нижних шкалах по осям абсцисс дано время, прошедшее от начала цикла, в сутках, d . Для η Gem пунктиром отмечены фазы для дат JD 2447964, JD 2448662 ($ph = 0.42; 1.42$) и JD 2448747-8748 ($ph = 0.79; 1.79$).

3. *Кривые блеска.* На рис.1 нанесены результаты фотометрических наблюдений в полосах V_I и V_I из каталога [1] для различных фаз, ph , циклов исследуемых звезд. При определении фаз для звезды 2 Cen использовался период p_c из табл.1, для остальных звезд - периоды p из той же таблицы. Эпохи минимумов или максимумов взяты из [2], или найдены в рядах наблюдений [1]. На нижних шкалах по осям абсцисс отложено время, прошедшее от начала цикла, в сутках, d .

Как видно из рисунка, кривые блеска звезд сильно различаются как по амплитуде, так и по длительности цикла, периоду (см. шкалу времени по оси абсцисс). При этом максимальный разброс величин ($\sim 0^m.2$ - в полосе V_I и $\sim 0^m.3$ - в полосе V_I) в большинстве соседних фаз любой из рассматриваемых звезд близок к амплитуде переменности 2 Cen и σ Lib в течение цикла, составляющего 10-20 дней. Это, на наш взгляд, может быть свидетельством существования, наряду с основным циклом, возможных вариаций (циклических или иррегулярных) блеска с периодами в несколько дней или часов.

4. *Ошибки переменных звезд.* Из-за переменности излучения, для определения средних ошибок переменных звезд приходится пользоваться

Таблица 2

 ОШИБКИ V_I И V_I ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД В ОТДЕЛЬНЫЕ ДАТЫ

Назва- нис	JD244...	n	Band	mean, m	s,m	s_o,m	F	$F_{0.95}$ ($N-1, \infty$)	s_M,m
η Gem	8662	16	V_I	3.460	0.046	0.019	5.86	1.7	
			V_I	5.335	0.069	0.033	4.37		
	8668	14	V_I	3.466	0.038	0.019	4.00	1.8	
			V_I	5.338	0.065	0.032	4.13		
L_2 Pup	8738	11	V_I	3.458	0.034	0.019	3.20	1.9	
			V_I	5.355	0.071	0.032	4.92		
	8747- 8748	20	V_I	3.511	0.036	0.019	3.59	1.6	
			V_I	5.381	0.067	0.032	4.38		
L_2 Pup	7917	10	V_I	4.623	0.011	0.020	0.30	2.0	0.022
			V_I	6.153	0.048	0.037	1.68		
2Cen	8694	10	V_I	5.363	0.030	0.020	2.25	2.0	
			V_I	7.000	0.079	0.037	4.56		
	8425	11	V_I	4.289	0.026	0.019	1.87	1.9	
			V_I	5.898	0.026	0.033	0.62		
σ Lib	8517	12	V_I	4.437	0.024	0.019	1.59	1.8	
			V_I	6.037	0.031	0.033	0.88		
	8685	10	V_I	4.441	0.022	0.019	1.34	2.0	0.041
			V_I	6.061	0.038	0.033	1.33		
σ Lib	8695	16	V_I	4.453	0.023	0.019	1.47	1.7	
			V_I	6.063	0.054	0.033	2.68		
σ Lib	8823	10	V_I	3.453	0.019	0.021	0.82	2.0	
			V_I	5.423	0.027	0.035	0.60		

довольно короткими по времени рядами наблюдений, в процессе которых излучение звезды практически не меняется. Учитывая, что периоды исследуемых звезд намного больше суток, можно считать, что таким интервалом времени являются сутки. Для получения значимого результата мы отобрали несколько дат с наибольшим количеством наблюдений. В табл.2 приведены даты, в течение которых звезда наблюдалась не менее 10 раз. В ней для каждой звезды даны: название; юлианская дата, JD244...; количество наблюдений в течение суток, n ; название фотометрической полосы, *Band*; средняя величина, *mean*, m ; среднее квадратичное отклонение наблюденных величин (стандартная ошибка наблюдений), s , m ; средняя случайная ошибка, вычисленная по всем (степень свободы равна ∞) наблюдениям звезды, s_0 , m ; отношение $F = s^2/s_0^2$; квантили распределения Фишера для доверительной вероятности 95%, $F_{0.95}(N-1, \infty)$. (О содержании последнего столбца см. ниже.)

Из сравнения F с квантилями Фишера видно, что условие $F > F_{0.95}$ (такие F отмечены жирным шрифтом) выполнялось во все даты для звезды η Gem и в отдельные даты для других звезд, что означает, что разброс величин превышал значимо (с доверительной вероятностью $>95\%$) разброс, обусловленный случайными ошибками. В эти же даты ошибки переменных звезд превышали ошибки стандартов, что видно на рис.2, на котором s стандартов (белые и черные кружки) взяты из части I данной работы, а s переменных звезд в разные даты обозначены разными символами. Кроме ошибок в указанные даты, остальные ошибки были сравнимы со стандартными. Однако в рассеяние величин большинства стандартных звезд, как было показано в части I, входило дополнительное рассеяние, не связанное со случайными или инструментальными причинами. Учитывая сходство

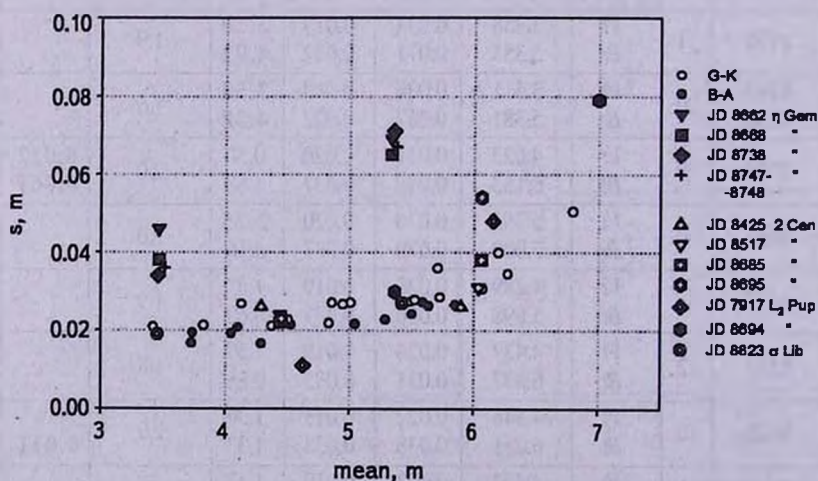


Рис.2. Зависимость ошибки, s , от звездной величины, *mean*, m для стандартных звезд разных спектральных классов и полуправильных гигантов η Gem, 2 Cen, L_1 Pup и σ Lib в отдельные даты, JD-2440000.

ошибок, можно предположить, что и в рассеянии величин переменных звезд имелось дополнительное рассеяние.

Превышение ошибок наблюдений над случайными связано с влиянием на рассеяние наблюдаемых величин дополнительных факторов, которые могли быть связаны как с внешними объектами (например, с близкими компонентами звездной системы и т.п.), так и определяться внутренними причинами (например, микропеременностью звезды и т.п.).

Влияниям этих факторов посвящены следующие разделы.

5. Влияние внешних факторов. Влияние внешних факторов на разброс результатов наблюдений проследим на примере звезды η Gem.

Звезда η Gem, Пропус, является тройной системой звезд [6]. У главной звезды, полурегулярной переменной типа SRA спектрального класса M3III, есть два компонента: один, близкий, спектрального класса $\sim B$ (?), слабее главной звезды на $\sim 2^m$, находится на расстоянии ~ 7 а.е. ($\sim 0''.1$); другой, удаленный, карлик спектрального класса F или G 8-й величины, находится на расстоянии ~ 150 а.е. ($\sim 1''.65$). Период обращения внутреннего компонента составляет 8.2 года, период внешнего - больше чем 700 лет.

Кривая блеска η Gem, представленная на рис. 1а, имеет следующие черты: длинный, почти постоянный максимум, короткий минимум очень незначительной глубины, $< 0^m.4$ в полосе I_i , и асимметричные ветви спада и роста. Известно, что глубина минимума переменная: приблизительно каждые 8 лет наблюдаются особенно глубокие (до $\sim 0^m.6$) минимумы.

В работе [7] авторы объясняли более глубокие минимумы увеличением амплитуды пульсаций. Связывали это с воздействием на главную звезду близкого компонента, которое усиливается в периастре, хотя признавали, что для такого воздействия система достаточно широкая и глубокие минимумы вблизи периастра могли быть просто совпадением.

Схевик [8], учитывая совпадение периода близкого компонента с периодом изменений глубины минимума, связал эти изменения с затмениями. Однако в обзоре [9] эта связь опровергается, поскольку затмения не связаны с пульсациями и могли бы встречаться и в максимуме световых изменений, что не наблюдается.

Посмотрим, как могло сказаться присутствие компонентов на результаты наблюдений на спутнике Hipparcos [1].

Рассмотрим подробнее результаты двух прохождений звезды в отдельные даты. Вычисленные по ним параметры приведены в табл.3. В ней по результатам n прохождений звезды через наклонные (индекс 1) и вертикальные (индекс 2) щели были вычислены в каждой полосе, *Band*, и занесены в таблицу следующие параметры: средняя величина, *mean*, m ; среднеквадратичное отклонение наблюдаемых величин, s , m ; отношение $F = s_1^2 / s_2^2$; откорректированная разность средних величин двух прохождений,

Δ_{cor} , m (см. ч.1); значения T , полученные по формуле (2) (см. ч.1) для доверительной вероятности 99.9%. (Отметим, что результаты относятся к одному циклу звездной пульсации).

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХ ПРОХОЖДЕНИЙ ЗВЕЗДЫ η Gem В
ОТДЕЛЬНЫЕ ДАТЫ

JD244...	n	Band	$mean_1, m$	s_1, m	$mean_2, m$	s_2, m	F	$F_{0.95}$	Δ_{cor}, m	T
8662	8	Vt	3.497	0.017	3.422	0.031	0.3	3.8	0.082	0.052
		Br	5.386	0.054	5.284	0.035	2		0.109	0.094
8668	7	Vt	3.479	0.048	3.454	0.020	6	4.3	0.032	0.085
		Br	5.354	0.089	5.322	0.026	12		0.039	0.151
8738	5	Vt	3.451	0.048	3.459	0.011	19	6.4	-0.001	0.111
		Br	5.349	0.096	5.343	0.030	10		0.013	0.227
8747- -8748	10	Vt	3.537	0.030	3.486	0.019	2	3.2	0.058	0.044
		Br	5.428	0.045	5.334	0.051	1		0.101	0.084

В таблице видно, что ошибки результатов наблюдений в разные даты значительно отличались. Так, в даты JD...8668 и JD...8738 рассеяние результатов наблюдений существенно превышало случайное рассеяние, $F > F_{0.95}$. А в даты JD...8662 и JD...8747-8748 рассеяние параметров не превосходило случайное, $F < F_{0.95}$, но наблюдались большие систематические различия результатов после наклонных и вертикальных щелей: $|\Delta_{cor}| > T$ значимо с вероятностью $> 99.9\%$.

Попробуем объяснить полученные результаты присутствием компонентов.

Дальний компонент, находящийся на расстоянии $1''.65$ (больше ширины щелей), не попадал в щели по ширине, но, по-видимому, мог (в зависимости от ориентации щелей относительно направления звезда-компонент) попадать в них по высоте (высота щелей $20''$). Однако он слишком слаб (8^m), чтобы оказать заметное влияние на рассеяние результатов наблюдений (мы оценили, что суммарный световой поток от системы звезда-компонент превышает поток от звезды не более 1%).

Учитывая, что расстояние между звездой и близким компонентом ($0''.1$) значительно меньше ширины щелей ($0''.91$), можно ожидать, что известный близкий компонент во время наблюдений звезды "проваливался" в щели, и полученный световой сигнал регистрировал суммарный поток от системы звезда-компонент. Однако вероятности попадания в наклонные и вертикальные щели, очевидно, разные из-за различия в их геометрии. Поэтому результаты после наклонных и вертикальных щелей также могли быть разными. Так, в даты JD...8662 и JD...8747-8748 после вертикальных щелей мог регистрироваться поток от системы звезда-компонент (отсчеты больше), а после наклонных - только от звезды (отсчеты меньше). В эти

даты близкий компонент, не попадая в щели или целиком "проваливаясь" в них, не влиял на рассеяние результатов наблюдений, если, конечно, сам не являлся переменным: $F < F_{0.95}$ (см. табл.3). Однако могли быть случаи, когда компонент оказывался на краю щели, попадая то внутрь щели, то наружу и увеличивая тем самым рассеяние результатов. Так можно было бы объяснить результаты наблюдений в даты JD...8668 и JD...8738.

Можно считать, что приведенные результаты качественно согласуются со сделанным выше предположением о положении компонента относительно щелей. В то же время количественно такого согласия нет. Во-первых, вероятность того, что компонент не попадет в щель или "зацепится" за ее край составляет ~10% (0.1/0.91). Однако среди рассмотренных 4-х дат то и другое события произошли в 2-х случаях (50%), что значительно превосходит предсказание теории. Во-вторых, оценки величин звезды и системы звезда-компонент не совпадают с наблюдаемыми величинами. Действительно, если компонент относится к спектральному классу В и слабее звезды на $\sim 2^m$ (см. выше), то величины компонента будут равны $V_{t_c} \approx V_t + 2^m$ и $B_{t_c} \approx B_t$, а величины системы звезда-компонент, V_c и B_c -

$$\begin{aligned} V_{t_c} &\approx -2.5 \cdot \log 10^{-0.4 V_t} (1 + 10^{-0.42}) \approx V_t - 0^m.16, \\ B_{t_c} &\approx -2.5 \cdot \log 2 \cdot 10^{-0.4 B_t} \approx B_t - 0^m.75. \end{aligned} \quad (1)$$

Однако наблюдаемые величины не соответствуют этим оценкам, что следует из табл.3 и рис.3, на котором приведены результаты всех наблюдений в даты JD...8662 (а) и JD...8747 (б). По вертикальным осям отложены величины V_t и B_t , по горизонтальным - время, Δt , в минутах, min, от начала наблюдений в соответствующую дату. У каждой точки на "усах" отложены величины случайных ошибок, s_0 . На рис.3а добавлены (справа от разрыва по оси абсцисс) четыре наблюдения в дату JD...7964 (см. ниже). Для всех дат результаты после первого прохождения (наклонные щели) обозначены черными кружками, после второго (вертикальные щели) - белыми. Видно, что различие величин $\leq 0^m.10$ в полосе V_t и $\leq 0^m.20$ в полосе B_t , что не соответствует оценкам (1).

Можно предположить, что это связано с отличием спектрального класса близкого компонента от класса В. Это предположение поддерживается результатами спектрофотометрических наблюдений [10,11]. Согласно им, в кривых энергии системы звезда-компонент (компонент не был разрешен) не было обнаружено отклонений от нормального распределения, что свидетельствует о том, что компонент относился к тому же (или близкому) спектральному классу, что и главная звезда, а именно, к классу М. Такое предположение было сделано и ранее в работе [12].

Если принять спектральный класс компонента М, то величины системы звезда-компонент будут равны:

$$Vt_c = Vt - 0^m.16 \quad \text{и} \quad Bt_c = Bt - 0^m.16. \quad (2)$$

Полученные различия наблюдаемых величин (см. табл.3) и в этом случае не соответствуют оценкам (2).

Как видно, на основе имеющейся информации о тройной системе η Gem, полученные результаты не объяснить. Поэтому мы попытались дать им альтернативное объяснение.

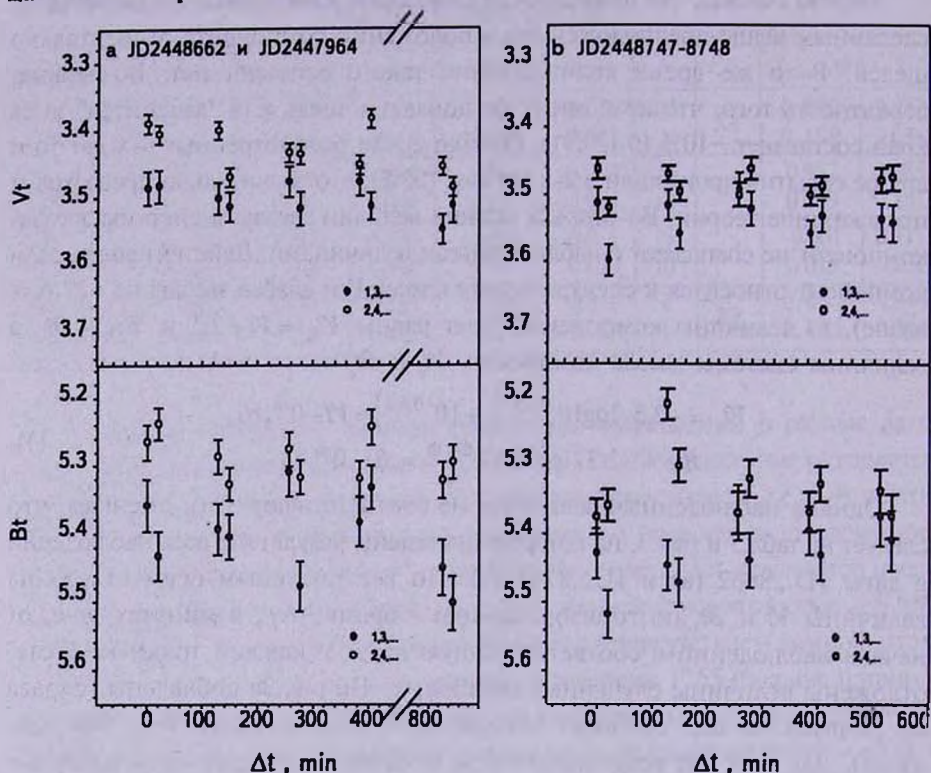


Рис.3. Результаты наблюдений величин Vt и Bt в даты: а - JD 2448662 и JD 2447964, б - JD 2448747-8748. Δt - время (в минутах, *min*) от начала наблюдений; черные кружки - первое прохождение звезды (1,3...), белые кружки - второе прохождение (2,4...).

Вернемся к дате JD...7964. Результаты наблюдений в эту дату относятся к другому циклу пульсаций, но соответствуют той же фазе цикла, что и в дату JD...8662. Для свертки наблюдений в один цикл моменты наблюдений в дату JD...7964 были нами редуцированы на три цикла вперед с периодом p из табл.1 и отложены на рис.3 по оси абсцисс в минутах от начала наблюдений в дату JD...8662. Как видно, в данной фазе другого цикла имелось также систематическое различие величин после двух прохождений: звезда была ярче после второго прохождения.

Исходя из совпадения результатов на одной и той же фазе в разных циклах, можно предположить, что рис.3 иллюстрирует быструю переменность

блеска звезды: увеличение блеска за секунды с повторением через интервалы времени, равные $\sim 21/j$ мин, где j - целое число (~ 21 мин - наикратчайшее время между очередной регистрацией пары световых сигналов). Поскольку величины V_i во время вспышек увеличивались больше, чем величины I_i , температура вспышек была несколько выше температуры звезды. (Оценки показали, что увеличение температуры не превышало 100 K). Такие вспышки мог индуцировать невидимый (более близкий) спутник во время наибольшего сближения со звездой. В этом случае вспышки должны были носить локальный характер и, поскольку блеск звезды во время вспышек возрастал не более чем на $0^m.10$, то вспышки должны были занимать не больше 10% поверхности звезды.

Фазы, которым соответствовали наблюдения в даты JD...7964, JD...8662 и JD...8747-8748 отмечены вертикальными штриховыми линиями на кривой блеска рис.1а. Видно, что штриховые линии ограничивают область минимума. Учитывая, что даты JD...7964, JD...8662 пришлось на одну и ту же пульсационную фазу, период орбитального движения спутника был равен периоду пульсаций звезды. При этом минимум фазы затмения не совпадал с пульсационным минимумом, а попадал на восходящую ветвь, что отражалось на асимметрии кривой блеска в этой области (см. рис.1а). Явно выраженную асимметрию пульсационной кривой в области минимума показали также кривые блеска в работе [13].

Приведенная альтернативная интерпретация результатов наблюдений, бесспорно, является дискуссионной, поскольку основана на предположении о существовании невидимого спутника и на чудесном совпадении частоты индуцируемых им вспышек с кратной ей частотой регистрации светового сигнала.

Остается добавить, что затмение известным близким компонентом, которое, согласно [8], должно происходить один раз в ~ 8 лет и уменьшать блеск звезды на $0^m.6$, во время наблюдений [1] не произошло. Не было оно зарегистрировано и при спектрофотометрических наблюдениях [10,11].

6. Микропеременность и быстрая переменность красных гигантов. Как было отмечено выше (см. раздел 4, табл.2), в рассеянии результатов наблюдений звезд L, Pup и 2 Cep в даты JD...8694, ...8695 участвовали, кроме случайных факторов, дополнительные факторы. Если таким фактором являлась микропеременность звезд, то по формуле (3) части I можно определить рассеяние величин, s_M , связанное с влиянием этого фактора. Величина s_M приведена в последнем столбце табл.2. Рассматривая и сравнивая результаты стандартных (см. табл.3, ч.I) и переменных (см. табл. 2, ч.II) звезд, можно отметить, что микропеременность у переменных звезд, в отличие от стандартных, имела большую амплитуду.

Определение периода микропеременности у полуправильных гигантов

осложнялось наложением его на основной период. Так, на рис.1 (b,d) разброс величин на одной фазе мог превышать $0^m.15$ и оказывался сравнимым с максимальным разбросом величин за весь цикл.

При исследовании микропеременности у звезды 2 Cen (рис.1b), для увеличения объема выборки, мы объединили результаты наблюдений на относительно спокойном участке кривой блеска в районе минимума в фазах 0.3-0.5 и применили к составленному ряду наблюдений Фурье-анализ.

Полученные спектры мощности для звезды 2 Cen приведены на рис.4а (для Vt) и 4с (для Bt). По осям абсцисс отложены частоты, ν , обратные

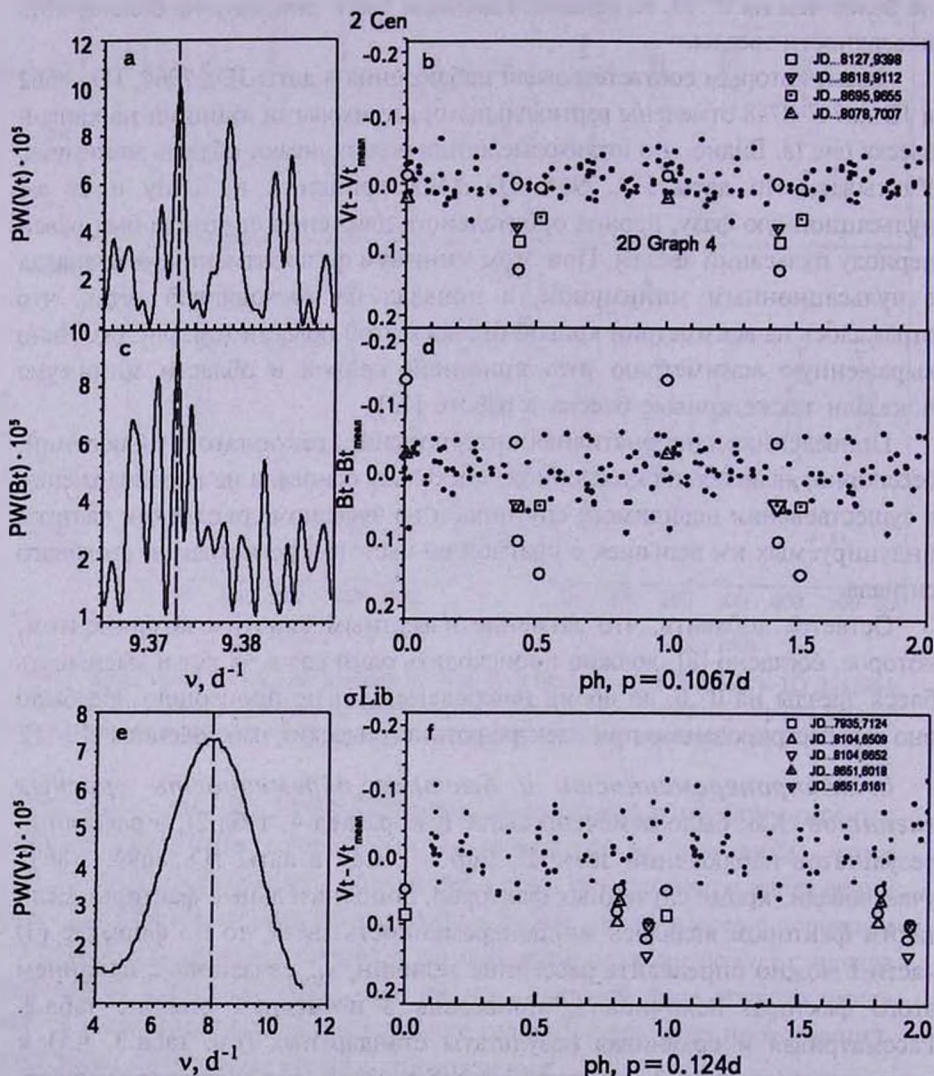


Рис.4. Спектры мощности (а, с, е) и фазовые зависимости (b, d, f) для звезд 2 Cen (а, b, c, d) и σ Lib (е, f). Обозначения те же, что на рис.2; моменты отдельных наблюдений (разные символы) даны в юлианских днях, JD244....

периоду (в сутках, d). Пики максимальных мощностей на обоих рисунках соответствуют периоду $0.1067d$ (154 мин). Неопределенность периода равна $\pm 0.0001d$ (0.14 мин). Кроме максимальных пиков, есть несколько соседних пиков (особенно в полосе Br), сравнимых по высоте с основным. Им соответствуют разные, но близкие периоды.

Из-за наложения близких периодов трудно получить фазовую зависимость по каждому периоду отдельно. Это хорошо видно на рис.4b (Vr) и 4d (Br), на котором нанесены точками результаты наблюдений 2 Cep, свернутые с периодом максимальной мощности в один цикл. Подобрать аппроксимацию фазовой зависимости плавной кривой не представилось возможным. Тем не менее, на обоих рисунках можно выделить в одних и тех же фазах разных циклов (разные обозначения) сильно "отскакивающие" значения: кружки - результаты первого прохождения, треугольники и квадраты - второго прохождения. Рядом с указанием обозначений приведены моменты второго прохождения в юлианских днях, JD244... (моменты первого прохождения на несколько секунд раньше, см. ч.1).

Отклонения выделенных значений от среднего хотя бы в одном прохождении превосходили стандартные отклонения с вероятностью $>95\%$. Это были либо грубые ошибки, либо реальные изменения величин. Так, значение в момент наблюдений JD...8078.7007 показало сильное отклонение только для одного параметра и в одном прохождении, поэтому, скорее всего, оно являлось грубой ошибкой. Результаты, полученные в другие моменты, существенно отклонились от средних значений одновременно в обоих параметрах в сторону меньших значений блеска и пришлось на близкие фазы цикла. Все три пары значений относились к разным циклам, но практически к одной фазе основного периода - к минимуму. Совпадение результатов из разных циклов исключает их случайность. По-видимому, кроме пульсаций с периодом $12.57d$ (см. табл.1), имелись быстрые изменения минимальных значений блеска в течение ~ 15 мин (~ 0.1 периода, рис.4b, d), которые повторялись с интервалами, кратными ~ 154 мин.

Из-за малого количества наблюдений σ Lib в отдельных фазах поиск микропеременности для этой звезды был проведен нами по результатам всех наблюдений с использованием Фурье-анализа. Полученные спектры мощности для звезды σ Lib показали очень широкие максимумы, поэтому периоды были определены с большими ошибками: $p(Vr) = 0.124d$ (179 мин) $\pm 0.067d$ (96 мин) и $p(Br) = 0.112d$ (162 мин) $\pm 0.035d$ (51 мин). На рис.4 приведен спектр мощности (е) и свернутые результаты (f) для величины Vr (для величины Br картинка аналогичная). Как видно, представить фазовую зависимость плавной кривой не представляется возможным. На рисунке выделены сильно "отскакивающие" значения. Отклонения их от средних значений хотя бы в одном параметре значимо (с вероятностью

>95%) превышали стандартные отклонения. Минимальные значения блеска повторялись через ~20 мин в каждой из дат JD...8104 и JD...8651. Обе даты относились к эпохе минимума основного цикла.

Нестабильное состояние атмосферы звезды L_2 Pup показали результаты наблюдений [1] в дату JD...8694 (см. табл.2), которая пришлась на минимум кривой блеска ($ph = 0.33$ на рис.1с). Полученный в эту дату большой разброс величин отражал, по-видимому, реальные изменения в атмосфере звезды. Из-за большой амплитуды пульсаций мы не смогли определить у этой звезды быструю переменность с малой амплитудой, хотя она, скорее всего, имела место, как и у других рассмотренных выше звезд.

Итак, для двух исследованных полуправильных гигантов σ Lib и 2 Cep с короткими периодами пульсаций, 10-20 дней, обнаружены быстрые, в течение ~15-20 мин, изменения минимальных значений блеска на $0^m.10-0^m.15$, которые повторялись с интервалами времени, кратными 150-180 мин. Нестабильной была также стадия минимального блеска у звезды L_2 Pup с длинным периодом пульсаций, 140 дней. Рассеяние величин из-за переменности в минимуме этой звезды в течение одной даты составляло $0^m.02-0^m.06$.

7. Заключение. На основе исследования изменений фотометрических величин V_i и B_i полуправильных гигантов типа SR были получены следующие результаты.

Для звезд 2 Cep и σ Lib с короткими периодами пульсаций ~10-20д быстрые изменения блеска до $0^m.10-0^m.15$ продолжались в течение ~15-20 мин в минимуме основного цикла. Повторяемость изменений была кратна 150-180 мин.

Нестабильной была стадия минимального блеска также у звезды L_2 Pup с длинным периодом пульсаций, 140 дней. Рассеяние величин в минимуме из-за переменности составляла $0^m.02-0^m.06$ в течение суток. На переменность излучения в минимуме блеска этой звезды указывалось нами ранее в работе [4]. В ней по результатам спектрофотометрических наблюдений [10,11] было проведено исследование физических условий в атмосфере L_2 Pup на протяжении всего цикла переменности и показано, что в атмосфере звезды происходили крупномасштабные движения и истечения материи, при этом наиболее нестабильной была стадия минимального блеска.

Наличие низкоамплитудной ($<0^m.1$) переменности у нормальных и переменных звезд было получено нами также в работе [14], основанной на анализе данных Пулковского спектрофотометрического каталога [15,16]. Временной масштаб переменности, рассмотренный в этой работе, был не менее 20 мин (время получения одного скана).

У полуправильного гиганта η Gem в трех датах были обнаружены быстрые (за секунды) увеличения блеска до $\sim 0^m.1$, повторяющиеся через

несколько минут (<21 мин) и продолжающиеся в течение почти 10 часов. Такие быстрые и частые вспышки происходили, по-видимому, в поверхностных слоях атмосферы и могли индуцироваться гипотетическим невидимым спутником при максимальном сближении со звездой. Наличие такого спутника, период обращения которого по орбите равен периоду пульсации звезды, требует подтверждения.

Исходя из оценок времени выхода энергии из подфотосферных слоев ($10^5 - 10^6$ с = 1 - 11 суток) [17], можно предположить, что полученные у некоторых звезд быстрые изменения блеска, повторяющиеся с периодом $\sim 11d$, связаны с освобождением энергии на сравнительно небольших глубинах под фотосферой.

Мы не можем объяснить все полученные результаты, требуются дополнительные исследования, чтобы их понять. Но хотим заметить, что почти полвека назад Горбачкий [17,18] писал: "отклонения от плавной кривой блеска обычно рассматриваются как ошибки наблюдений", но они могут "отражать реальные быстрые изменения яркости звезды" [18, стр. 284]. С тех пор сильно изменились приемная аппаратура и методы наблюдений, повысилась точность наблюдений. Стало возможным провести наблюдения со спутника, исключив главный мешающий фактор - атмосферу. На основе заатмосферных наблюдений был создан обширный однородный каталог [1]. Но по-прежнему отклонения от плавной кривой считаются ошибками. Настоящая работа показала, что в большинстве случаев такие отклонения отражают реальные изменения величин, и их надо исследовать.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Россия, e-mail: ruban@mail.ru e-mail: arkadi@arharov.ru

MICROVARIABILITY AND FAST VARIABILITY OF THE STARS. II. THE SEMIREGULAR RED GIANTS: 1, ρ Pup, 2 Cen, η Gem, σ Lib

E.V.RUBAN, A.A.ARKHAROV

The photometric magnitudes V and B from Hipparcos catalog 4 semiregular red giants ρ Pup, 2 Cen, η Gem, σ Lib (spectral classes M3-M6 III) were investigated to search the microvariability and fast variability of their radiation. It is shown that the low amplitude variability appeared as fast changes in the light minimum of main cycle. For stars 2 Cen and σ Lib the changes of magnitudes achieved $0^m.10-0^m.15$ within 15-20 min. The changes were repeated

through time intervals multiple 150-180 min. For star L₂ Pup the dispersion of magnitudes was $0^m.02-0^m.06$ within 1 day. Fasten explosions $\sim 0^m.1$ within several seconds with intervals < 21 min were discovered for η Gem. These outbursts could be induced by hypothetic close companion during nearest position to star. At the same time the period of companion should be equal to period of star pulsation. The presence of this companion should be confirmed.

Key words: *stars:red giants:photometry:variability*

ЛИТЕРАТУРА

1. The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, ESA 1997.
2. *N.N.Samus, O.V.Durlevich*, В/гсvс, General Catalogue of Variable Stars, Samus+, 2007-2009.
3. *Е.В.Рубан, А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, В.В.Новиков*, Астрофизика, **52**, 421, 2009.
4. *Е.В.Рубан, А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, В.В.Новиков*, Астрофизика, **52**, 99, 2009.
5. *T.R.Bedding, A.A.Zijlstra, A.Jones et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **337**, 79, 2002.
6. *Jim Kaler*, <http://stars.astro.illinois.edu/sow/sowlist.htm>
7. *D.B.McLaughlin, S.E.A. van Dijke*, Astrophys. J., **100**, 63, 1944.
8. *H.Schewick*, AN, **279**, 65, 1950.
9. *Bela Hassforther*, "Eta Geminorum - wirklich ein Bedeckungsveränderlicher?"
10. *G.A.Alekseeva, V.D.Galkin, I.N.Nikanorova, V.V.Novikov*, Baltic Astron., **3**, 361, 1994.
11. *Е.В.Рубан, Г.А.Алексеева, А.А.Архаров и др.*, Письма в Астрон. ж., **32**, 672, 2006.
12. *N.J.Woolf*, The Observatory, **83**, 260, 1963.
13. *J.R.Percy et al.*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **113**, 983, 2001.
14. *А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, Е.В.Рубан*, Изв. ГАО, **215**, 5-20, 2000.
15. *G.Alexeeva, A.Arkharov, V.Galkin et al.*, Pulkovo Spectrophotometric Catalogue of Bright Stars in the Range from 32 to 1080 nm, Baltic Astron., **5**, 603, 1996.
16. *G.Alexeeva, A.Arkharov, V.Galkin et al.*, Pulkovo Spectrophotometric Catalogue of Bright Stars in the Range from 32 to 1080 nm. F Supplement. Baltic Astron., **6**, 481, 1997.
17. *В.Г.Горбачкий*, ДАН, **144**, 738, 1962.
18. *В.Г.Горбачкий, И.Н.Минин*, Нестационарные звезды, М., изд.физ.-мат. с.355, 1963.