

МИКРОПЕРЕМЕННОСТЬ И БЫСТРАЯ
ПЕРЕМЕННОСТЬ ЗВЕЗД. I. СТАНДАРТНЫЕ ЗВЕЗДЫ

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 V_I , приведенных в каталоге Hipparcos, 15 стандартных звезд с целью поиска микропеременности и быстрой переменности их излучения. Показано, что микропеременность характеризовалась, в основном, плавными колебаниями блеска. Для звезд HD 28355 и HD 130109 изменения величин с периодом ~ 150 мин и амплитудой $< 0^m.02$ определялись, по-видимому, вертикальными колебаниями фотосферы. Для звезды ϵ Eri изменения величин с амплитудой $\sim 0^m.01$ и периодом 11.4d связывались с вращением пятен. Похожий период и амплитуда микропеременности у звезды 51 Peg определялись, скорее всего, влиянием планеты.

Ключевые слова: *звезды:переменность:фотометрия - звезды:стандарты*

1. *Введение.* Исследуя переменность полуправильного красного гиганта 2 Cep [1], нами было обнаружено, что при объединении по фазе результатов наблюдений разных циклов разброс параметров (V_I , V_I , m_λ) в одной фазе сравним с амплитудой изменения этих параметров в течение всего цикла. Наблюдаемый разброс мог быть связан как с различием амплитуд в разных циклах, так и с иррегулярной переменностью, наложенной на периодические изменения, поскольку известно, что у пульсирующих звезд-гигантов типа SR, к которому относится звезда, плохо выраженная периодичность может прерываться неправильными колебаниями блеска.

В настоящей работе поставлена задача исследования переменности, не связанной с основным циклом. К изучению привлечены еще три звезды типа SR из спектрофотометрического каталога [2,3]: L_2 Pup, η Gem и σ Lib (результаты исследования спектрофотометрической переменности звезды L_2 Pup опубликованы в [4]). У этих звезд представлены разнообразные вариации переменности: периоды различаются более чем в 10 раз, амплитуды варьируют от одной десятой до нескольких звездных величин.

Для выяснения сложного характера переменности нами были использованы результаты наблюдений фотометрических величин V_I и V_I , полученные на протяжении более трех лет и представленные в однородном фотометрическом каталоге Hipparcos [5].

Поскольку целью исследований являлись малые изменения параметров, то необходимо было тщательно определить ошибки наблюдаемых данных,

на фоне которых проявляются эти изменения, а также проверить, не являются ли малые изменения величин характерной чертой всех звезд, в том числе нормальных. Исследование ошибок каталожных данных [5] и поиск возможной микропеременности нормальных звезд были выполнены по результатам наблюдений 15 стандартов ("С" в классификации каталога Hipparcos). Результаты этого исследования отражены в первой (I) части работы. Вторая (II) часть посвящена переменным звездам.

2. *Ошибки стандартных звезд.* Оценка точности данных каталога [5] была проведена в работе [6]. Согласно этой оценке, точность фотометрии для звезд с $V_I \approx 7^m$ составляла $\sim 0^m.01$. Ошибки единичных наблюдений

Таблица 1

ОШИБКИ V_I И V_I СТАНДАРТНЫХ ЗВЕЗД

HD	N	Sp	Band	mean, m	s , m	s_0 , m	F	SM , m
3627	133	K3III	V_I	3.419	0.021	0.014	2.2	0.016
			Br	4.948	0.027	0.023	1.4	0.014
4142	196	B5V	V_I	5.636	0.029	0.029	1.0	-
			Br	5.501	0.025	0.027	0.9	-
10761	147	K0III	V_I	4.372	0.021	0.016	1.7	0.014
			Br	5.484	0.027	0.024	1.3	0.013
13520	118	K4III	V_I	5.010	0.027	0.025	1.2	0.010
			Br	6.794	0.050	0.047	1.1	0.018
16978	143	B9III	V_I	4.102	0.022	0.016	1.9	0.015
			Br	4.050	0.024	0.018	1.7	0.016
22049	85	K2V	V_I	3.826	0.021	0.013	2.6	0.017
			Br	4.859	0.027	0.019	2.1	0.020
25604	69	K0III	V_I	4.470	0.022	0.017	1.6	0.013
			Br	5.730	0.028	0.027	1.1	-
28355	168	A7V	V_I	5.044	0.023	0.022	1.2	0.008
			Br	5.289	0.023	0.023	1.1	0.005
43232	126	K3III	V_I	4.132	0.027	0.017	2.5	0.021
			Br	5.711	0.036	0.029	1.5	0.021
111968	167	A4IV	V_I	4.288	0.020	0.016	1.5	0.012
			Br	4.525	0.024	0.018	1.8	0.016
130109	133	A0V	V_I	3.732	0.020	0.014	2.1	0.014
			Br	3.741	0.023	0.016	2.1	0.017
139127	156	K4.5III	V_I	4.504	0.023	0.021	1.2	0.010
			Br	6.198	0.040	0.037	1.2	0.016
209100	196	K5V	V_I	4.835	0.022	0.019	1.3	0.011
			Br	6.070	0.031	0.030	1.0	-
217014	197	G2.5IVa	V_I	5.525	0.028	0.026	1.1	0.009
			Br	6.274	0.034	0.033	1.1	0.009
221525	165	A7IV	V_I	5.588	0.030	0.027	1.2	0.011
			Br	5.849	0.029	0.028	1.0	-

при этом составляли несколько десятых величины.

Учитывая большую зависимость ошибок от светового сигнала [6], мы определили ошибки ярких звезд в диапазоне V -величин исследуемых переменных звезд, $3^m.4 \div 5^m.6$. Для этого отобрали из каталога [5] стандартные звезды разных (по возможности, крайних) спектральных классов для нахождения зависимости ошибки от класса.

Номера, HD, отобранных стандартных звезд, количество наблюдений, N , спектральный класс, Sp , приведены в табл.1. Для них по данным наблюдений в каждой полосе, $Band$, вычислены и приведены следующие результаты: средняя величина, $mean$, m ; среднеквадратичное отклонение наблюдаемых величин (стандартная ошибка наблюдений), s , m ; средняя случайная ошибка, s_0 , m ; отношение $F = s^2/s_0^2$. (О содержании последнего столбца см. ниже.)

Зависимость ошибки от величины и спектрального класса можно видеть на рис.1: по оси абсцисс отложены значения $mean$ в величинах, m , а по оси ординат - ошибки s , m . Черные кружки относятся к звездам классов В - А, белые - G - К. Как видно, средний уровень ошибок лежит в диапазоне $0^m.020 - 0^m.025$, зависимости от класса практически нет, но ошибки растут с уменьшением блеска звезды. Однако во всем диапазоне величин они значительно ниже ошибок ($\sim 0^m.10$) для более слабых звезд [6].

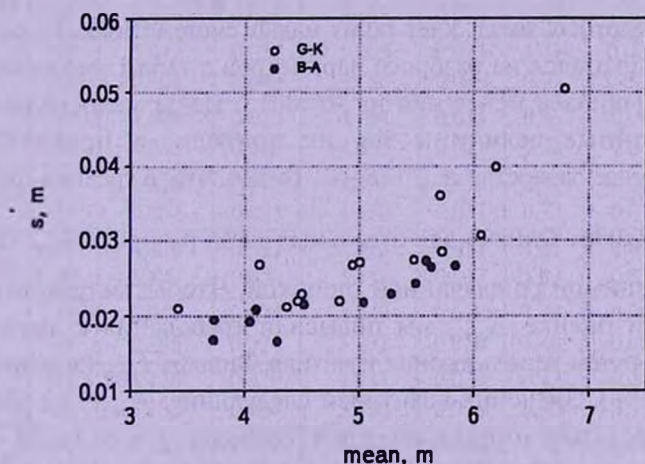


Рис.1. Зависимость ошибки, s , от звездной величины, $mean$, для стандартных звезд разных спектральных классов: G-K - белые кружки, B-A - черные кружки.

Величина F в табл.1 для большинства звезд удовлетворяет условию $F > F_{0.95} = 1.0$, где $F_{0.95}$ - квантиль Фишера для доверительной вероятности 95% ($F > F_{0.95} = 1.3$ для HD 22049 и HD 25604). Это означает, что разброс наблюдаемых величин превышает с вероятностью более 95% разброс, обусловленный случайными ошибками. (В настоящей работе использованы статистические критерии и таблицы из книги [7]).

Как известно [6], серия наблюдений на спутнике Hipparcos состояла из повторяющихся примерно через 21 мин пар отсчетов. При каждом отсчете регистрировался световой сигнал после прохождения света от звезды через группу наклонных и вертикальных щелей, первое прохождение было через наклонные щели. Возможное наличие систематических расхождений отсчетов от разных щелей могло сказаться на наблюдаемом разбросе результатов. Мы проверили наличие таких расхождений.

Для этого были рассмотрены наблюдаемые величины двух групп: в первой - после первого прохождения (индекс 1), во второй - после второго (индекс 2). (Непарные наблюдения были исключены из рассмотрения.) Для звезды с номером HD по результатам n наблюдений в каждой полосе, *Band*, были вычислены и занесены в табл.2 следующие параметры: средняя величина, $mean, m$; среднеквадратичное отклонение наблюдаемых величин, s, m ; отношение $F = s_1^2/s_2^2$; разность средних величин, $\Delta = mean_1 - mean_2, m$. Как видно, практически все значения Δ отрицательные, что свидетельствует о систематическом превышении зарегистрированного блеска звезд после первого прохождения над соответствующими показателями после второго. Это превышение

незначительно и составляет (в среднем) $\delta = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta = -0^m.007$, где k - количество стандартных звезд. Учет таких малых систематических различий практически не сказался на разбросе параметров в табл.1: величина s для всех звезд уменьшилась менее чем на $-0^m.0015$. Из-за малости различий откорректированные величины мы не привели, а привели лишь откорректированные разности, $\Delta_{cor} = \Delta - \delta$. Видно, что, в среднем, различий

нет: $\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta_{cor} = 0.000$. Однако для отдельных звезд разность Δ_{cor} осталась заметной и сравнимой со случайной ошибкой. Чтобы застраховаться от случайности при оценке Δ_{cor} , мы повысили требования к значимости этих результатов путем использования квантиля Фишера $F_{0.999}$ (доверительная вероятность 99.9%). Значения квантилей следующие: $F_{0.999} = 3.2$ для звезд HD 22049 и HD 25604 (число степеней свободы $f = n-1 = 33+34$) и $F_{0.999} = 1.9+2.5$ для остальных звезд ($f = 56+96$). Если $F \leq F_{0.999}$ и $F \geq 1/F_{0.999}$ ($1/F_{0.999}$ равно 0.31 и $0.40+0.53$, соответственно), то дисперсии s_1^2 и s_2^2 относятся к одной генеральной совокупности. Сравнивая табличные значения F (см. табл. 2) с приведенными значениями $F_{0.999}$ и $1/F_{0.999}$, можно видеть, что эти условия выполняются для всех звезд, т.е. различие между дисперсиями незначимо, и к сравнению средних величин можно применить t -критерий. Для этого должна быть определена средневзвешенная дисперсия:

$$S_{1,2}^2 = [(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2] / (n_1 + n_2 - 2) .$$

Так как $n_1 = n_2 = n$, то

$$S_{1,2}^2 = (s_1^2 + s_2^2)/2. \quad (1)$$

Число степеней свободы, соответствующее этой дисперсии, равно $f = 2(n - 1)$. Для n из табл.2 число степеней свободы $f > 66$, а квантили Стьюдента, взятые из статистических таблиц, равны $t_{0,999} = 3.3 + 3.4$. С этими данными можно определить величину

$$T = t_{0,999} \cdot S_{1,2} \cdot \sqrt{1/n_1 + 1/n_2} = t_{0,999} \cdot S_{1,2} \cdot \sqrt{2/n}. \quad (2)$$

Значения T , полученные для наименьшего значения квантиля, $t_{0,999} = 3.3$, приведены в последнем столбце табл.2. Согласно статистическому критерию, если $|\Delta_{cor}| > T$, то различие средних величин $mean_1$ и $mean_2$ значимо с

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХ ПРОХОЖДЕНИЙ СТАНДАРТНЫХ ЗВЕЗД

HD	n	Band	$mean_1, m$	s_1, m	$mean_2, m$	s_2, m	F	Δ, m	Δ_{cor}, m	T
3627	65	Vr	3.418	0.020	3.420	0.022	0.78	-0.002	0.005	0.012
		Br	4.946	0.027	4.950	0.027	1.05	-0.005	0.003	0.016
4142	90	Vr	5.632	0.028	5.640	0.025	1.32	-0.008	-0.001	0.013
		Br	5.497	0.025	5.505	0.023	1.14	-0.008	-0.001	0.012
10761	71	Vr	4.365	0.021	4.378	0.019	1.23	-0.013	-0.006	0.011
		Br	5.474	0.028	5.495	0.023	1.45	-0.021	-0.014	0.014
13520	57	Vr	5.012	0.030	5.005	0.023	1.72	0.006	0.014	0.016
		Br	6.801	0.049	6.786	0.049	0.97	0.015	0.022	0.030
16978	66	Vr	4.098	0.020	4.104	0.021	0.96	-0.006	0.001	0.012
		Br	4.045	0.018	4.051	0.021	0.73	-0.005	0.001	0.012
22049	35	Vr	3.826	0.015	3.827	0.022	0.92	-0.002	0.005	0.017
		Br	4.851	0.023	4.870	0.027	0.77	-0.019	-0.012	0.019
25604	34	Vr	4.464	0.021	4.476	0.021	1.01	-0.012	-0.005	0.016
		Br	5.722	0.028	5.738	0.027	1.03	-0.016	-0.009	0.022
28355	78	Vr	5.041	0.024	5.049	0.018	1.74	-0.008	-0.001	0.012
		Br	5.285	0.024	5.292	0.020	1.46	-0.007	-0.000	0.012
43232	62	Vr	4.126	0.020	4.137	0.031	0.42	-0.011	-0.004	0.016
		Br	5.704	0.034	5.716	0.036	0.90	-0.012	-0.005	0.020
111968	74	Vr	4.285	0.017	4.292	0.015	1.32	-0.007	-0.004	0.009
		Br	4.518	0.021	4.531	0.019	1.34	-0.013	-0.006	0.011
130109	59	Vr	3.726	0.016	3.732	0.017	0.89	-0.006	0.006	0.010
		Br	3.735	0.018	3.740	0.020	0.86	-0.005	0.002	0.012
139127	77	Vr	4.503	0.023	4.505	0.023	1.00	-0.002	0.005	0.013
		Br	6.202	0.045	6.194	0.034	1.80	0.009	0.015	0.021
209100	97	Vr	4.831	0.020	4.839	0.023	0.73	-0.008	-0.001	0.011
		Br	6.064	0.031	6.075	0.029	1.07	-0.011	-0.004	0.015
217014	95	Vr	5.516	0.027	5.533	0.026	1.16	-0.017	-0.010	0.013
		Br	6.268	0.037	6.280	0.030	1.60	-0.013	-0.006	0.016
221525	76	Vr	5.583	0.027	5.596	0.027	1.05	-0.012	-0.006	0.015
		Br	5.847	0.027	5.849	0.026	1.01	-0.002	0.005	0.015

вероятностью $>99.9\%$. Однако $|\Delta_{cor}| \leq T$ и различия результатов двух прохождений незначимы для всех звезд.

Подведем итог анализу ошибок стандартных звезд.

Случайные ошибки стандартных звезд в диапазоне $3^m.4 + 5^m.6$ V -величин менялись от $0^m.02$ до $0^m.05$, увеличиваясь при уменьшении блеска звезды. От спектрального класса ошибки не зависели.

Рассеяние результатов наблюдений большинства звезд превышало рассеяние из-за случайных ошибок.

Имелись небольшие систематические различия между результатами прохождений через наклонные и вертикальные щели: средняя разность величин между двумя прохожденими составляла $\delta = -0^m.007$ (после наклонных щелей звезда, в среднем, была ярче). Учет этих различий практически не сказался на разбросе результатов, и полученное в табл.1 значимое превышение ошибки наблюдений над случайной ошибкой нельзя объяснить неучтенными систематическими ошибками.

По-видимому, в разбросе величин большинства стандартных звезд (см. табл.1, $F > 1.0$) участвовали дополнительные факторы, не обусловленные ошибками. Одним из таких факторов может быть микропеременность звезды.

3. Микропеременность и быстрая переменность стандартных звезд. В случае наличия переменности звезды, рассеяние результатов наблюдений I и V разбивается на две составляющие: стохастическую и случайную, где стохастическая составляющая связана с переменностью, а случайная - с влиянием случайных факторов, воздействующих на каждый параметр. Если дисперсию величин, связанную с изменениями излучения звезды, обозначить как s_M^2 , то дисперсия результатов наблюдений представится в виде: $s^2 = s_0^2 + s_M^2$. Зная дисперсии s^2 и s_0^2 , можно найти рассеяние величин из-за переменности излучения:

$$s_M = \sqrt{s^2 - s_0^2} \quad (3)$$

Вычисленные по этой формуле значения S_M по всем наблюдениям звезды приведены в табл.1, в последнем столбце. Как видно, рассеяние величин из-за переменности излучения наблюдалось практически у всех звезд, при этом 4 звезды показали рассеяние, превосходящее случайный разброс (отмечено жирным шрифтом).

Чтобы исследовать переменность в разные даты, мы отобрали для этих 4-х звезд даты с количеством наблюдений не менее 10 и провели вычисления стандартной ошибки и входящего в нее разброса, связанного с переменностью. Результаты приведены в табл.3. В ней для каждой звезды с номером HD даны: юлианская дата, JD244...; длительность наблюдений, h , в часах; количество наблюдений в течение суток, n ; название фотометрической полосы, *Band*; средняя величина, *mean*, m ;

среднеквадратичное отклонение наблюдаемых величин (стандартная ошибка наблюдений), s , m ; отношение $F = s^2/s_0^2$, где s_0 - средняя случайная ошибка, вычисленная по всем (степень свободы равна ∞) наблюдениям звезды; квантили распределения Фишера для доверительной вероятности 95%, $F_{0.95}(N-1, \infty)$. В последнем столбце приведено вычисленное по формуле (3) рассеяние величин, s_{ν} , из-за переменности излучения.

Как следует из табл.3, рассеяние величин превышало случайный разброс с вероятностью $>95\%$ ($F > F_{0.95}$) не в каждую дату. Это связано, по-видимому, с нестабильностью амплитуды переменности, в результате которой рассеяние s_{ν} в отдельные даты было ниже случайного рассеяния, и разбросы S_{ν} , полученные по всем наблюдениям звезды (табл.1), оказывались меньше разбросов s_{ν} в отдельные даты (табл.3).

Таблица 3

ПЕРЕМЕННОСТЬ СТАНДАРТНЫХ ЗВЕЗД В РАЗНЫЕ ДАТЫ

HD	JD244...	h	n	Band	mean, m	s, m	F	$F_{0.95}$ ($n-1, \infty$)	s_{ν}, m
3627	7947	17	20	Vr Br	3.418 4.943	0.017 0.023	1.47 1.00	1.6	0.010 -
	7951	11	11	Vr Br	3.408 4.953	0.028 0.040	3.72 3.08	1.9	0.024 0.032
	8768	4	10	Vr Br	3.425 4.937	0.020 0.034	2.04 2.19	2.0	0.015 0.026
22049	8334	5	12	Vr Br	3.826 4.855	0.025 0.025	3.58 1.74	1.9	0.021 0.016
	8342	5	12	Vr Br	3.817 4.858	0.025 0.040	3.51 4.47	1.9	0.021 0.035
	8518	8	12	Vr Br	3.834 4.871	0.019 0.024	2.08 1.69	1.9	0.014 0.016
43232	8663	11	16	Vr Br	4.126 5.714	0.022 0.021	1.74 0.50	1.7	0.015 -
	8746	5	10	Vr Br	4.133 5.706	0.037 0.042	4.71 2.08	2.0	0.033 0.030
130109	8606	24	38	Vr Br	3.736 3.748	0.023 0.024	2.79 2.30	1.3	0.018 0.018
	8607	21	29	Vr Br	3.734 3.739	0.023 0.023	2.69 2.07	1.5	0.018 0.016

Возможное наличие периодичности микропеременности мы исследовали для звезды HD 130109 из табл.1, имеющей длинный ($n > 60$) ряд наблюдений в последовательных датах. Результаты наблюдений представлены на рис.2 (а - для Vr, б - для Br) с указанием (на "усах") величин случайных ошибок. На рисунках выделены три пары значений (белые символы: кружки -

первое прохождение, треугольники - второе). Различия в этих парах, хотя бы для одной величины, существенно превосходили разброс, обусловленный случайными ошибками. Они могли быть связаны с иррегулярной переменностью, поэтому были нами исключены из дальнейшего рассмотрения микропериодичности.

Для поиска периодичности использовался метод Фурье-анализа для временных рядов с перерывами. На рис.2 показаны спектры мощности, $10^5 PW$, вычисленные для V_I (с) и B_I (е). По осям абсцисс отложены частоты, ν , обратные периоду (в сутках, d). Максимальные по высоте пики, отмеченные на рисунках штриховыми линиями, соответствуют периоду $p = 0.110d = 158 \pm 8$ мин и превышают уровень шума в 4.5 раза в полосе

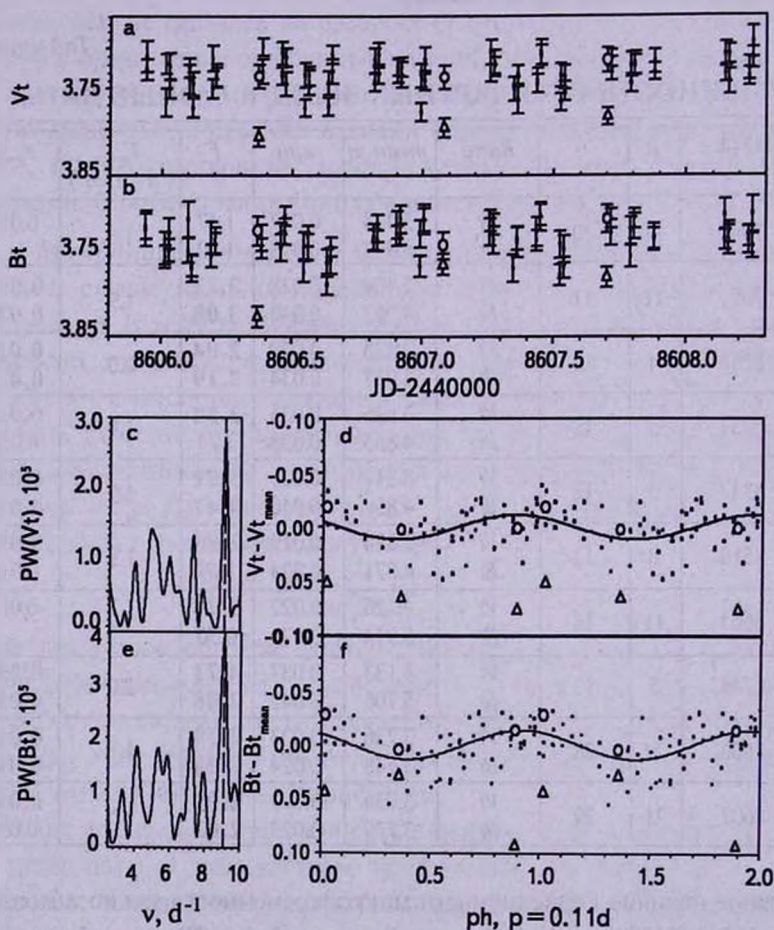


Рис.2. Результаты наблюдений V_I (а), B_I (б) для звезды HD 130109, по оси абсцисс отложена юлианская дата, JD-2440000; $10^5 PW$ — спектры мощности: с — для ряда V_I , е — для ряда B_I . ν — частота (в d^{-1}) — величина, обратная периоду; фазовые зависимости: d — для $V_I - V_{I_{mean}}$, f — для $B_I - B_{I_{mean}}$; $V_{I_{mean}}$ и $B_{I_{mean}}$ — усредненные величины; p — период, соответствующий пику в спектре мощности.

Vt (рис.2с) и в 4.9 раза в полосе Bt (рис.2е).

Используя полученные значения периодов, нами были сосчитаны количества циклов, определены фазы, ph , на которые приходились наблюдения, и все наблюдения в каждом ряду были свернуты по фазам в один цикл. Результаты свертки приведены на рис.2 (d,f) (для наглядности цикл повторен дважды). По осям абсцисс отложены значения фаз, а по осям ординат разности $Vt - Vt_{\text{средн}}$ (d) и $Bt - Bt_{\text{средн}}$ (f) ($Vt_{\text{средн}}$, $Bt_{\text{средн}}$ - средние величины в рассматриваемых рядах). Через точки построения проведены кривые приближенной регрессии (синусоиды), $y = f(ph)$. Амплитуды: $0^m.0113$ (рис.2d) и $0^m.0136$ (рис.2f).

Для оценки силы связи между наблюдаемыми величинами и фазами вычислена дисперсия величин от регрессионной кривой:

$$D = \frac{1}{n_r - l} \sum_{i=1}^{n_r} (m_i - y_i)^2, \quad (4)$$

где m_i - наблюдаемая величина Vt или Bt ; $y_i = f(ph_i)$ - значение, определяемое из уравнения регрессии для фазы ph_i ; n_r - количество наблюдаемых величин в выборочном ряду; l - число связей, накладываемых функцией y на выборку (l равно количеству параметров в аналитическом выражении функции, для используемой синусоиды $l = 3$). Сила связи характеризуется числом [7]

$$\zeta = (n_r - l) D / (n_r - 1) s^2. \quad (5)$$

По аналогии с линейной регрессией, когда сила связи выражается через коэффициент корреляции, в случае произвольной регрессии для выражения силы связи рассматривается корреляционное отношение [7]:

$$\Theta = \sqrt{1 - \zeta}. \quad (6)$$

Корреляционные отношения, вычисленные по этой формуле, равны 0.431 для Vt (рис.2d) и 0.444 для Bt (рис.2f). Значимость приведенных значений определяется доверительной вероятностью $>99.9\%$.

Вернемся к значениям величин, исключенным из рассмотрения периодичности. Как видно (рис.2a, b, d, f, белые символы), во всех случаях у обеих величин различие между двумя прохождением имело одинаковый знак и доходило до $0^m.11$, что более чем в десять раз превышало среднее различие между прохождением из-за инструментальных эффектов ($\delta = -0^m.007$). Такое большое отличие от среднего и в то же время сходство одновременного изменения двух величин ставит под сомнение его случайность. Возможно, что в переменности звезды присутствовала иррегулярная составляющая, проявившаяся в 3-х быстрых (за секунды) падениях блеска до $\sim 0^m.1$. Интервалы между падениями составляли $0.6d \div 0.7d$.

Кроме звезды HD 130109, мы исследовали на периодичность из табл.1 звезду HD 28355, а также две хорошо изученные звезды: HD 22049 (ϵ Eri) и HD 217014 (51 Peg).

Звезда HD 28355 также имела длинный ($n > 60$) ряд наблюдений в

течение нескольких дат подряд. В спектре мощности величины Vt этой звезды был обнаружен пик, соответствующий периоду $p = 0.106d = 152 \pm 2$ мин. Пик почти в 5 раз превышал уровень шума. Амплитуда колебаний с этим периодом составляла $0^m.0097$.

Для двух других звезд из литературы известно следующее.

У звезды ϵ Eri отмечалось наличие малых изменений фотометрических величин. Так, по наблюдениям BV -фотометрии [8] величины звезды изменялись в диапазоне $0^m.01$ - $0^m.03$. Эти изменения связывались с существованием пятен на поверхности звезды, вращающихся с периодами между $10.0d$ и $12.3d$. В работе [9] также были получены изменения блеска звезды с $\Delta m \sim 0^m.01$, которые тоже объяснялись существованием пятен, вращающихся с периодами $11.35d$ и $11.55d$.

В работе [10], исходя из модели пятнистой неоднородности, было показано, что у звезд моложе, чем Солнце (возраст ϵ Eri ~ 500 млн лет), за счет пятен на поверхности должны происходить микропериодические изменения яркости.

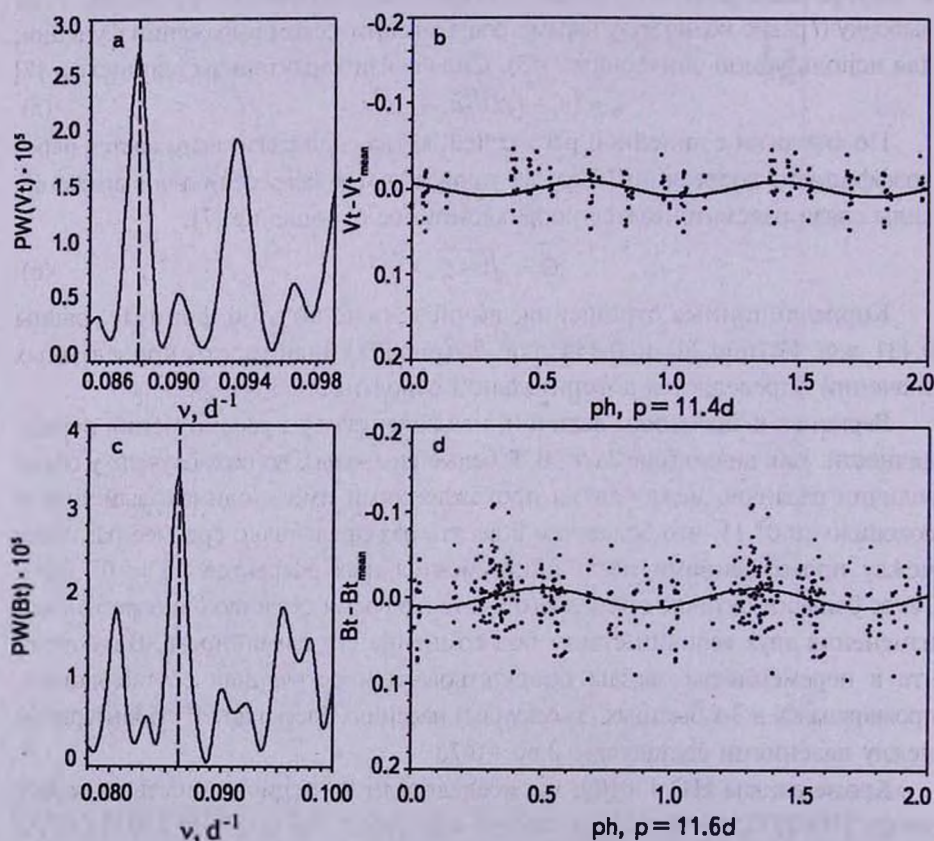


Рис.3. Спектры мощности (а, с) и фазовые зависимости (b, d) для звезд ϵ Eri (а, b) и 51 Peg (с, d). Обозначения те же, что на рис.2.

Другой особенностью звезды ϵ Eri являлось наличие у нее планеты, ϵ Eri b [11]. Период обращения равен 6.85 ± 0.03 года. Орбита ориентирована так, что за счет отраженного света от планеты звезда становится ярче в периастре. Однако заметить присутствие ϵ Eri b с величиной $19^m.1 + 19^m.5$ [12] вблизи звезды, которая на $\sim 15^m$ ярче, очень трудно.

У звезды 51 Peg также имелась планета [13-15]. Обнаружена она была при прохождении по диску звезды - падение блеска звезды составляло $0^m.017$. Орбитальный период ~ 4 дня.

В настоящей работе мы попытались найти микропеременность этих звезд. Спектры мощности и фазовые кривые, полученные для одного из параметров, приведены для звезды ϵ Eri на рис.3 (а, б), а для звезды 51 Peg - на рис.3 (с, d). Периоды, соответствующие положению максимальных пиков, составляют: $p = 11.4d$ (ϵ Eri) и $p = 11.6d$ (51 Peg). Ошибки, полученные из ширины пиков, равны $\pm 0.3d$. На рисунках, представляющих фазовые зависимости, по осям абсцисс отложены значения фаз, а по осям ординат разности $I_i - I_{i_{\text{мин}}}$ (б) и $B_i - B_{i_{\text{мин}}}$ (d). Проведена аппроксимация фазовых зависимостей линиями регрессии (синусоидами). Амплитуды кривых составляют $0^m.0086$ (ϵ Eri) и $0^m.0113$ (51 Peg). Корреляционные отношения, Θ , вычисленные по формуле (6), равны соответственно 0.339 и 0.246. Значимость их определяется доверительной вероятностью $>99.9\%$ для ϵ Eri и $>98\%$ для 51 Peg. Более короткие периоды у этих звезд обнаружены не были.

4. Заключение. Таким образом, в результате анализа фотометрических данных каталога Hipparcos [5] было установлено следующее.

В ошибки наблюдений почти всех рассмотренных стандартных звезд входила составляющая, связанная с переменностью излучения звезды. У 4-х звезд из 15-ти ($\sim 25\%$) рассеяние величин из-за переменности превосходило рассеяние из-за случайных ошибок. Это согласуется с результатами статистического анализа ошибок спектрофотометрических наблюдений 170 нормальных звезд [16]. У 52 из них ($\sim 30\%$) было зарегистрировано реальное изменение светового потока.

Низкоамплитудная переменность ($< 0^m.1$) рассмотренных стандартных звезд из каталога [5] имела как плавные изменения блеска в течение цикла, так и резкие его скачки. Для двух стандартных звезд, HD 28355 и HD 130109, обеспеченных длинными рядами наблюдений, периоды плавных изменений составляли: 152 ± 2 мин и 158 ± 8 мин, соответственно. Амплитуды изменений были $< 0^m.02$. Слабые колебания блеска с подобным периодом, существующие также и на Солнце (период 160 мин), являлись, по-видимому, отражением вертикальных колебаний в фотосфере.

Для стандартных звезд ϵ Eri и 51 Peg периоды плавных изменений блеска с амплитудой $\sim 0^m.01$ оказались более длинные. Они равны $11.4d$ и $11.6d$, соответственно. Аналогичные результаты для ϵ Eri были получены

ранее в работах [8,9] и связывались с вращением пятен.

У звезды же 51 Peg период 11.6d можно, по-видимому, объяснить влиянием планеты. Период орбитального движения планеты - ~ 4 дня. Чтобы обеспечить наблюдаемый период переменности блеска, планета должна была проходить по диску звезды в каждом третьем обороте по орбите. Амплитуда колебаний блеска звезды, полученная в настоящей работе, равна $0^m.011$, а максимальный разброс наблюденных величин, соответственно, - $0^m.022$, что неплохо согласуется с прямыми измерениями падения блеска звезды при прохождении планеты по диску, $0^m.017$ [13-15].

Кроме плавных изменений, были получены быстрые изменения блеска. Так, для стандарта HD 130109 три быстрых (за секунды) падения блеска достигали $\sim 0^m.1$. Скачки происходили с интервалами 0.6-0.7d одновременно в двух полосах.

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

MICROVARIABILITY AND FAST VARIABILITY OF THE STARS. I. THE STANDARD STARS

E.V.RUBAN, A.A.ARKHAROV

The photometric magnitudes V_I and B_I from Hipparcos catalog for 15 standard stars were investigated to search the microvariability and fast variability of their radiation. It is shown that microvariability was characterized mainly by smooth brightness variations. For stars HD 28355 и HD 130109 the changes of magnitudes with period about 150 min and amplitude $< 0^m.02$, probably were due to photosphere vertical fluctuations. For star ϵ Eri the changes of magnitudes with amplitude $\sim 0^m.01$ and period 11.4d were connected with rotations of spots. Similar period and amplitude of the microvariability for star 51 Peg were rather due to influence of planet.

Key words: *stars:variability:photometry - stars:standard*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Е.В.Рубан, А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, В.В.Новиков*, *Астрофизика*, **52**, 421, 2009.
2. *G.A.Alekseeva, V.D.Galkin, I.N.Nikanorova, V.V.Novikov*, *Baltic Astron.*, **3**, 361, 1994.
3. *Е.В.Рубан, Г.А.Алексеева, А.А.Архаров и др.*, *Письма в Астрон. ж.*, **32**, 672, 2006.
4. *Е.В.Рубан, А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, В.В.Новиков*, *Астрофизика*, **52**, 99, 2009.
5. *The Hipparcos and Tycho Catalogues*, ESA SP-1200, ESA 1997.
6. *V.Großmann, G.Bässgen, D.W.Evans et al.*, *Astron. Astrophys.*, **304**, 110, 1995.
7. *Е.И.Пустыльник*, *Статистические методы анализа и обработки наблюдений*, М., Наука, с.288, 1968.
8. *G.J.Frey, D.S.Hall, P.Manningly et al.*, *Astron. J.*, **102**, 1813, 1991.
9. *B.Croll, G.A.H.Walker, R.Kuschnig et al.*, *Astrophys. J.*, **648**, 607, 2006.
10. *I.S.Savanov*, *Astron. Reports*, **53**, 950, 2009.
11. *G.F.Benedict, B.E.McArthur, G.Gatewood et al.*, *Astron. J.*, **132**, 2206, 2006.
12. *M.Jonson, W.Brandner, T.Henning et al.*, *Astron. J.*, **133**, 2442, 2007.
13. *S.H.Pravdo, L.Angelini, S.A.Drake et al.*, *New Astronomy*, **1**, 171, 1996.
14. *G.W.Henry, G.W.Marcy, R.P.Butler, S.S.Vogt*, *Astrophys. J.*, **529**, L41, 2000.
15. *C.G.Tinney, R.P.Butler, G.W.Marcy et al.*, *Astrophys. J.*, **551**, 507, 2001.
16. *А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, Е.В.Рубан*, *Изв. ГАО*, **215**, 5-20, 2000.