

УДК: 524.35

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ БЛЕСКА И ПОЛЯРИЗАЦИИ μ СЕР

Т.А.ПОЛЯКОВА

Поступила 28 октября 2002

Принята к печати 10 ноября 2002

В этой статье мы приводим результаты наблюдений блеска и поляризации μ Сер за 1983–2002гг. К кривой блеска была подобрана почти синусоидальная кривая, имеющая несколько переменную амплитуду и период около 850 дней. При этом получилось, что минимумы реальной кривой блеска, по сравнению с плавной, часто как бы "залиты" дополнительным излучением. Для объяснения этого явления выдвигается рабочая гипотеза о выходе в приполярных областях холодного сверхгиганта излучения, которое было отражено в процессе "вуалирования" окисью титана обратно в атмосферу вблизи экватора и затем частично диффундировало в приполярную область.

1. *Введение.* В 1983г. мы обсуждали наши наблюдения μ Сер за 18 лет с 1965г. по середину 1983г. [1]. С тех пор прошло еще около 18 лет, и здесь мы приводим результаты наших наблюдений за период с 1983г. по 2001г. К сожалению, были два года (1994, 1995), в течение которых нет наших наблюдений, и еще два (1992, 1993), за которые мы смогли нанести на кривую блеска только 6 точек.

Прогноз, сделанный в работе [1] об изменениях поляризации μ Сер, оправдался лишь частично: ближайший следующий максимум поляризации произошел в 1984г. действительно при $\theta = 120^\circ$, но следующий за ним – наблюдался при $\theta = 165^\circ$, а не при 100° , как было предсказано, исходя из нашей рабочей гипотезы. Возможно, что этому было несколько причин: во-первых, при прогнозе пришлось опираться на разрозненные наблюдения поляризации в начале шестидесятых годов, во-вторых, период вращения μ Сер может несколько отличаться от принятого нами, и, кроме того, сам предложенный в [1] механизм образования потоков рассеивающих частиц, выравненных магнитными полями над биполярными активными областями, скорее всего, не настолько регулярен, чтобы обеспечить долговременный прогноз его проявлений в атмосфере сверхгиганта.

2. *Наблюдения.* В 1983–1993 годах мы проводили наблюдения μ Сер, как и прежде, в Бюракане, с фотометром, помещенным в кассегреневском фокусе 48-см рефлектора АЗТ-14 Наблюдательной лаборатории Астрономической обсерватории Ленинградского университета (в настоящее время НИАИ СПбГУ). При этом, до 1989г. во время нижних кульминаций μ Сер эти наблюдения дополнялись наблюдениями

на 9-дюймовом рефракторе в Ленинграде. А с 1996г. все наши наблюдения, из-за недоступности бюраканского инструмента, приводятся только на этом телескопе. Диаметр его объектива 225 мм, фокусное расстояние 2940 мм, с ним используется одноканальный фотометр-поляриметр с ФЭУ-79 (мультищелочной фотокатод). Поляриметрия производится в полосе V , а фотометрия - в B и V . Звездой сравнения, по-прежнему, служит 12 Сер = BD + 60 2294 = HD 207528 ($V = 5^m.43$, $B - V = +1^m.56$, $U - B = +2^m.05$ [2]). Для μ Сер средняя ошибка при измерении поляризации составляет 0.1%, а при измерении блеска - не превышает $0^m.02$. На широте Петербурга наиболее значительные пробелы в наблюдениях связаны с "белыми ночами" с мая по август. Однако малая скорость изменений параметров излучения μ Сер все же позволяет при этом проследить за их ходом. Результаты наших наблюдений μ Сер с середины 1983г. по март 2002г. (234 наблюдения) приведены в табл.1 в самом кратком виде.

Таблица 1

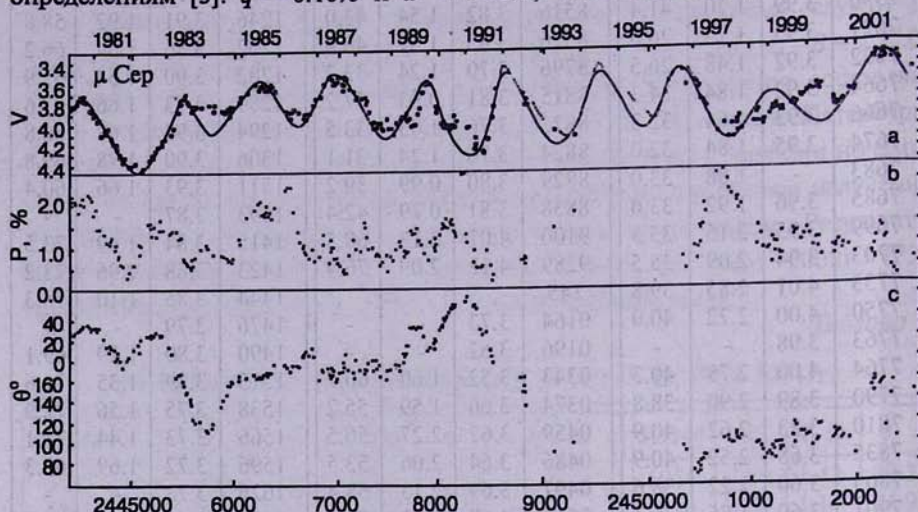
РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ μ СЕР В 1983-2001гг.

JD244	V	$P_v \%$	θ	JD244	V	$P_v \%$	θ	JD244	V	$P_v \%$	θ
5537	3.76	0.94	38.7	6298	3.62	-	-	6954	3.60	1.42	32.2
5543	3.78	0.98	38.4	6308	3.64	-	-	6978	3.58	1.14	31.9
5578	3.85	0.97	42.9	6310	3.63	1.78	11.7	6987	3.53	1.24	34.2
5579	3.82	1.01	45.0	6314	3.65	1.94	10.8	7012	3.53	1.36	35.3
5592	3.81	0.76	46.2	6329	3.65	1.64	12.0	7033	3.60	-	-
5599	3.82	1.01	55.0	6343	3.60	1.82	12.8	7036	3.66	-	-
5620	3.81	0.95	60.2	6361	3.62	1.72	14.6	7041	3.61	1.40	38.2
5670	3.81	0.83	66.2	6387	3.66	2.31	17.4	7047	3.53	1.54	37.5
5729	-	1.11	70.7	6491	3.86	2.65	14.2	7055	3.55	1.46	39.4
5742	3.79	1.17	68.4	6510	3.87	2.54	11.2	7069	3.55	1.64	39.9
5791	3.85	1.01	70.6	6529	3.93	2.40	6.0	7099	3.65	1.45	30.4
5794	3.79	0.86	61.7	6543	3.87	2.38	8.4	7144	3.67	1.48	22.9
5874	3.85	0.67	47.4	6564	3.84	2.18	17.4	7161	3.75	1.22	26.5
5898	3.86	0.78	40.5	6609	3.87	1.84	22.7	7168	3.72	1.78	30.0
5930	3.83	-	-	6662	3.92	1.92	30.8	7216	3.74	1.68	30.2
5931	3.85	0.84	36.6	6667	3.89	1.96	29.9	7258	3.73	1.64	15.5
5944	3.90	1.07	34.0	6678	3.94	1.91	32.7	7266	3.79	1.76	19.6
5949	3.83	-	-	6691	3.88	1.94	34.1	7281	3.76	1.62	22.8
5957	3.81	1.07	33.3	6719	3.88	1.79	31.1	7296	3.87	1.70	29.2
5977	3.82	1.18	34.1	6748	3.80	2.20	33.3	7339	4.03	-	-
5984	3.81	1.11	32.0	6772	3.74	1.71	35.4	7340	3.97	1.78	29.6
6044	3.76	1.20	20.0	6819	3.72	1.17	30.8	7369	4.03	1.43	30.3
6055	3.71	1.34	23.8	6852	3.60	1.65	21.7	7378	4.01	1.71	32.1
6126	3.67	1.53	11.1	6855	3.59	1.50	25.0	7384	3.99	1.48	30.4
6195	3.59	1.78	10.6	6886	3.54	1.42	18.8	7410	3.98	1.57	31.5
6231	3.65	1.74	7.0	6906	3.53	1.46	34.2	7421	4.03	1.36	31.5
6250	3.61	1.80	6.5	6926	3.54	1.40	22.0	7483	3.94	1.18	29.8
6259	3.61	1.56	10.0	6929	3.55	1.24	27.8	7494	4.03	1.40	38.4
6275	3.59	1.58	9.8	6940	3.60	1.37	31.1	7528	4.03	1.45	31.0
6287	3.65	1.66	12.3	6951	3.59	1.31	25.9	7551	4.09	-	-

Таблица 1 (окончание)

JD244	V	$P, \%$	θ	JD244	V	$P, \%$	θ	JD245	V	$P, \%$	θ
7567	4.02	1.71	36.5	8466	4.13	2.32	39.7	1220	3.89	1.81	66.6
7581	3.98	1.66	29.2	8500	3.93	1.76	37.4	1236	3.90	1.85	64.2
7590	3.99	1.70	41.4	8516	3.82	1.54	43.0	1246	3.91	1.92	58.8
7621	3.95	1.73	26.0	8526	3.65	1.52	40.4	1252	3.86	1.64	66.2
7632	3.92	1.48	26.5	8796	3.70	1.24	33.2	1282	3.90	1.54	61.9
7664	3.92	1.84	34.3	8815	3.81	0.93	37.2	1289	3.93	1.66	57.6
7666	3.93	1.64	32.3	8823	3.76	1.03	33.5	1294	3.92	1.68	60.8
7674	3.95	1.84	32.0	8824	3.76	1.24	31.1	1306	3.90	1.78	69.8
7683	-	1.88	33.0	8829	3.80	0.99	39.2	1311	3.93	1.66	60.4
7685	3.96	1.92	33.6	8838	3.81	0.79	42.4	1393	3.87	-	-
7699	3.95	2.15	35.5	9100	4.07	2.13	68.5	1415	3.84	1.49	73.5
7703	3.94	2.09	35.5	9289	4.12	2.09	76.4	1423	3.88	0.96	73.2
7733	4.01	2.85	39.8	245	-	-	-	1444	3.85	1.10	75.3
7750	4.00	2.72	40.0	0164	3.73	-	-	1476	3.79	-	-
7763	3.98	-	-	0196	3.62	-	-	1490	3.80	1.29	69.1
7764	4.00	2.78	40.3	0343	3.52	1.60	60.7	1513	3.79	1.35	71.6
7790	3.89	2.90	38.8	0374	3.66	1.59	55.2	1538	3.75	1.56	72.9
7810	3.83	2.62	40.9	0459	3.62	2.27	56.5	1566	3.73	1.44	71.1
7835	3.68	2.52	40.9	0486	3.64	2.06	53.5	1596	3.72	1.69	63.3
7865	3.60	2.22	38.6	0497	3.69	2.13	58.4	1626	3.73	-	-
7901	3.60	1.86	36.1	0513	3.67	2.73	58.5	1630	3.68	1.63	67.7
7921	3.52	2.23	32.7	0518	3.79	2.26	58.4	1650	3.72	1.51	64.2
7964	3.82	2.21	35.4	0522	3.80	2.41	63.2	1656	3.74	1.24	66.1
7968	3.88	2.04	34.0	0546	3.82	2.44	64.4	1674	3.69	1.11	59.7
7971	3.86	2.50	35.7	0555	3.84	2.69	70.3	1784	3.82	1.51	64.6
7977	3.83	2.33	35.9	0574	3.87	2.54	68.8	1785	3.85	-	-
8015	3.98	2.74	39.3	0683	4.11	2.70	88.3	1795	3.89	1.22	61.5
8030	4.01	2.92	40.6	0757	4.03	2.67	86.0	1807	3.90	1.43	64.7
8039	3.96	3.04	40.3	0797	4.17	2038	86.0	1814	3.87	1.34	66.0
8041	4.02	3.06	41.2	0803	-	2.47	80.3	1836	3.88	1.25	68.7
8053	4.01	3.04	44.1	0838	4.04	2.40	79.0	1866	3.85	1.48	63.0
8065	4.00	3.00	43.3	0850	4.17	2.94	83.1	1876	3.84	1.47	65.6
8076	4.03	3.22	44.0	0883	4.04	1.97	83.9	1931	3.75	1.52	64.9
8089	4.04	2.99	45.3	0884	4.00	1.76	85.6	1976	3.77	-	-
8107	4.00	3.15	46.9	0892	4.11	2.13	81.7	1989	3.74	1.80	58.7
8122	4.00	3.08	48.6	0906	3.96	1.98	78.4	2145	3.45	0.90	36.6
8125	4.02	3.19	49.4	0932	4.10	1.90	81.6	2164	3.47	0.92	30.0
8139	3.91	3.07	48.9	1038	4.03	-	-	2170	3.44	0.98	42.4
8146	4.02	2.92	50.6	1060	4.03	-	-	2173	3.40	1.14	35.7
8161	3.96	2.87	48.4	1070	4.03	1.65	65.1	2178	3.41	0.90	24.1
8166	3.96	2.78	50.3	1083	3.91	1.89	71.4	2217	3.48	-	-
8266	4.03	2.82	51.9	1112	4.03	1.75	64.0	2228	3.49	0.69	14.1
8280	4.02	2.57	53.5	1128	4.05	1.82	61.6	2235	3.43	0.80	16.6
8342	4.19	2.15	48.1	1138	4.01	-	-	2250	3.39	-	-
8343	4.12	2.45	49.0	1142	-	2.43	64.5	2252	3.43	0.91	25.7
8366	-	2.04	48.0	1169	4.17	1.88	60.4	2268	3.46	1.10	24.0
8412	4.25	1.99	42.7	1187	3.96	1.87	61.6	2321	3.43	1.15	49.5
8424	4.26	1.98	41.4	1212	3.92	1.73	56.2	2342	3.44	1.29	43.3

3. *Обсуждение результатов.* На рис.1 кривая блеска μ Сер за 22 года с 1980г. по 2001г. сопоставлена с изменениями собственной поляризации, то есть из наблюдаемых параметров поляризации были вычтены параметры межзвездной составляющей, полученные по нашим определениям [3]: $q = -0.10\%$ и $u = +1.51\%$, что составляет $p = 1.51\%$ при



Кривая блеска с 1980 по 2001гг.

Рис.1. а) На результаты наших наблюдений блеска μ Сер за 1980-2002гг. (точки), а за 1992-1995гг. - усредненные результаты из [5] (пунктир) наложена плавная кривая (непрерывная линия) с периодом 850 ± 150 ; б) изменения степени собственной поляризации; в) изменения позиционного угла собственной поляризации.

$\theta = 47^\circ$, а не 43° , как это указано в статье Добоко и др. [4]. Максимумы степени собственной поляризации, как и прежде, приходятся приблизительно на минимумы блеска, а угол поляризации за это время показал два продолжительных периода (1985-1988гг. и 1997-2000гг.) относительно слабой переменности, которые сменялись значительными "ступенчатыми" изменениями (1983-1984гг. и 1989-1992гг.), и в начале 2001г. угол θ вновь резко изменился на 50° - 60° . Такие периоды с различной степенью переменности θ чередовались и прежде, и было бы интересно проследить за ними дальше, хотя они происходят так медленно. Однако особое внимание мы здесь обратим на изменения блеска μ Сер. При этом с 1992г. по 1995г. для построения кривой блеска были использованы результаты из работы Перси и др. [5]. Заметим, что к изменениям блеска μ Сер можно подобрать плавную, приблизительно синусоидальную кривую с несколько переменной амплитудой $\approx 0^m.6 + 0^m.8$ и периодом $\approx 850^d \pm 150^d$ (рис.1). Реальная кривая блеска этой звезды обычно несколько искажена у максимумов плавной кривой, а в минимумах часто наблюдается как бы наложение дополнительного излучения. Создается

впечатление, что кривая блеска μ Сер подвержена не углублениям минимумов, как это происходит у мирид в визуальной области спектра, а, наоборот, - "заливаниям" минимумов дополнительным излучением. Все остальные имеющиеся наблюдения блеска μ Сер с 1849г. (в [6] они приведены с 1867г.) также поддаются этой процедуре подбора к ним плавной кривой, хотя при этом пределы изменений амплитуд иногда раздвигаются до $0^m.5 - 1^m.4$ и несколько увеличиваются пределы изменений периода, примерно до $850^d \pm 200^d$. Однако значения $\max \Delta P/P\%$ около 25% находятся в пределах, определяемых кумулятивной ошибкой для столь большого периода [6]. О значении среднего периода для μ Сер приблизительно 850^d также сообщает Скифф в обзорной статье [7], ссылаясь при этом на работу Белстафф и др. [8].

Для объяснения временного "заливания" минимумов блеска у долгопериодической переменной однажды уже было выдвинуто предположение Меррилом [9] для случая R Aqr. Он предположил существование "гипотетического спутника" у этой звезды, так как спектральные наблюдения показывали в то время значительное усиление излучения в голубой области ее спектра. Но для μ Сер таких изменений спектра замечено не было. С другой стороны, полуправильные переменные и мириды по всем параметрам излучения, кроме величин амплитуд в визуальной области спектра, весьма подобны. Как указывал Меррилл [10], в последовательности красных гигантских звезд доля переменных возрастает с уменьшением их температур, пока все они не оказываются переменными либо миридами, либо полуправильными.

В связи с этим выдвинем предположение, что мириды - это те холодные переменные гиганты, которые имеют большой наклон оси вращения, то есть земному наблюдателю больше видны их экваториальные области. Кроме того предположим, что именно в этих областях происходит наибольшая активизация процессов, вызывающих периодическое расширение и охлаждение атмосфер гигантских звезд. Такое охлаждение приводит к образованию большого количества окиси титана, вызывающего сильное "вуалирование" в визуальной области спектра, что является одной из причин углубления минимумов блеска мирид на этих длинах волн. При этом значительная доля излучения возвращается обратно в атмосферу и может затем частично переизлучаться в других длинах волн, а частично может диффундировать в очень протяженных атмосферах в области, где "вуалирование" из-за TiO не столь сильно проявляется, то есть в околополярные части атмосфер и там излучаться, заполняя минимумы.

μ Сер обращена к нам, скорее всего, околополярной областью, как это следует из характера изменений параметров ее поляризации [1]. Следовательно, возможно, что ее минимумы блеска будут заполняться

обращенным излучением, диффундировавшим из экваториальной зоны ее протяженной атмосферы. Этот процесс, возможно, бывает не всегда одинаково интенсивным. Например, когда активность звезды больше проявляется в полушарии звезды, обращенном в противоположную от наблюдателя сторону (по аналогии с солнечной активностью), отраженное излучение будет сильнее диффундировать в невидимую нам приполярную область звезды. Мы при этом увидим не "залитые" минимумы на кривой блеска, и при ее анализе математическими методами могут обнаружиться дополнительные периодичности, как, например, в работе [6]. В дополнение к табл.1 приводим результаты наблюдений, выполненных во время подготовки статьи:

Таблица 1 (дополнение)

JD245	V	$P, \%$	θ
2375	3.42	1.46	50.5
2380	3.46	1.85	56.4
2390	3.49	-	-
2519	3.56	-	-
2537	3.57	1.00	55.1

4. **Закключение.** Для объяснения явления "заливания" минимумов блеска μ Сер здесь выдвинута рабочая гипотеза о том, что холодные гигантские переменные звезды, в зависимости от угла между их осью вращения и лучом зрения, могут проявлять себя для земного наблюдателя либо как мириды, либо как полуправильные переменные. Вблизи экватора активность звезды проявляется сильнее и во время минимумов блеска там образуется гораздо больше окиси титана, чем вблизи полюсов. TiO создает сильное "вуалирование" в визуальной области, что способствует у мирид углублению их минимумов блеска. При этом не пропущенное излучение, возможно, частично диффундирует в протяженной атмосфере сверхгиганта в приполярные области и, выходя там, "заливает" минимумы блеска, приводя к созданию полуправильных кривых блеска, как в случае μ Сер.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Астрономический институт им. В.В.Соболева, Россия

ON THE BRIGHTNESS AND POLARIZATION
VARIATIONS OF μ CEP

T.A.POLYAKOVA

The results of the photometric and polarimetric observations of μ Cep for 1983-2002 are presented. The light curve of μ Cep is fitted by a smooth nearly sinusoidal curve with variable amplitude and period about 850 days. In comparison with the smoothed curve at the real one the minima often look as if they were "flooded" with an additional light. To find the explanation of this phenomenon we advance a working hypothesis that some part of light which was returned back by TiO into atmosphere of a cold supergiant star near equatorial regions, diffused then into its near-polar regions and radiated there.

Key words: *stars:variables - stars:individual:* μ Cep

ЛИТЕРАТУРА

1. Т.А.Полякова, Астрофизика, **21**, 125, 1984.
2. В.А.Домбровский, Т.А.Полякова, В.А.Яковлева, Труды АО ЛГУ, **27**, 3, 1970.
3. Т.А.Полякова, Астрофизика, **10**, 53, 1974.
4. Х.А.Докобо, В.С.Тамазян, Н.Д.Меликян, М.А.Ерицян, Л.А.Карапетян, Астрофизика, **43**, 219, 2000.
5. J.R.Percy, J.B.Wilson, G.W.Henry, Publ. Astron. Soc. Pacif., **113**, 983, 2001.
6. Т.А.Полякова, Перемен. звезды, **20**, 75, 1975.
7. В.А.Скифф, IBVS, 5015, 2001.
8. T.Brelsstaff, C.Lloyd, T.Markham, D.McAdam, J.Brit, Astron. Soc., **107**, 135, 1997.
9. P.W.Merrill, Astrophys. J., **81**, 312, 1935.
10. П.Меррил, "Звездные атмосферы", гл.13, ИИЛ, М., 1963.