

Затменные переменные звезды SW Лебеда и TW Дракона и закономерности изменения их периодов

Н. П. Словохотова

SW Лебеда

Переменность SW Лебеда была открыта на Московской астрономической обсерватории *Л. П. Цераской* в 1898 г. [11]. Последующие наблюдения *С. Н. Блажко* указали на принадлежность этой звезды к типу Алголя с $P = 4^d 13^h 44^m$ и с остановкой в минимуме [12]. Вскоре после этого *Пикеринг* опубликовал исправленный период $4^d 13^h 45^m 02^s$ по наблюдениям на гарвардских пластинках [13]. В дальнейшем эту звезду наблюдали *Уэнделл* [3], *Графф* [6], *Нейланд* [7] и др.

В 1925 г. *Блажко* заметил, что период меняется, и дал предварительную формулу [14]:

$$\text{Min} = \text{J. D. } 2417128.356 + 4.572856 E - 0.60 \cdot 10^{-7} E^2.$$

В 1930 г. *П. П. Паренаго* [2] собрал и обработал все имевшиеся в то время наблюдения этой звезды. Он получил следующие элементы:

$$\text{Min} = \text{J. D. } 2418440.758 + 4.5728184 E - 0.706 \cdot 10^{-7} E^2.$$

Но последующие наблюдения *Кордылевской* [8] уже не представлялись этой формулой.

В 1939 г. *Дэган* и *Райт* опубликовали свои результаты исследования этой звезды [1]. Они получили по гарвардским пластинкам 19 нормальных минимумов, а также использовали ряд моментов минимумов, полученных другими наблюдателями. Оказалось, что за охваченный наблюдениями промежуток времени период сильно меняется. *Дэган* и *Райт* предположили наличие третьего тела и дали минимальное значение периода изменения периода $\Pi = 3500 P$ и амплитуды $A = 0^p 012$. Для полного обоснования этого положения у них не хватало наблюдательных данных (собранные ими моменты минимумов не охватывали полного цикла изменения периода).

В настоящее время, на основании дальнейших наблюдений этой звезды, часть которых была получена мною на Абастуманской и Московской обсерваториях, можно утверждать, что, по крайней мере частично, изменение периода объясняется наличием в системе SW Лебеда третьего тела. Поскольку амплитуда вторичного минимума слишком мала, а также поскольку последние наблюдения систематически отклоняются в одну сторону от теоретической кривой, нельзя быть уверенным, что в данном случае имеется чистое вращение вокруг третьего тела. В то же время постоянство блеска между минимумами и длительный период постоян-

ного блеска в минимуме (2^h) исключает возможность предположения о вращении линии апсид вследствие эллипсоидальности компонентов.

В 1952 г. на Абастуманской и на Московской обсерваториях я получила 114 визуальных оценок блеска SW Лебеда.

Звезды сравнения:

*	Ст	*	Ст
<i>a</i>	0.00	<i>e</i>	16.41
<i>b</i>	6.58	<i>f</i>	20.08
<i>c</i>	11.08	<i>g</i>	24.62
<i>d</i>	12.91	<i>h</i>	28.04

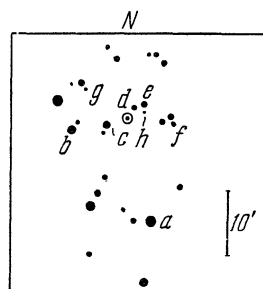


Рис. 3

В Абастумани оценки производились с четырехдюймовым рефрактором (J. D. 2434238—34276), в Москве — с семидюймовым (J. D. 2434331—34354). Моменты всех наблюдений были приведены к центру Солнца. Эпохи минимумов определялись следующим образом: наблюдения были представлены графически, и затем накладыванием кальки со средней кривой, полученной по всем наблюдениям при помощи элементов ОКПЗ, получались сами моменты минимумов. При этом возможная погрешность в определении моментов минимумов, оценивавшаяся путем перемещения средней кривой направо и налево по отношению к оси времени, составляет $\pm 0^m001 = \pm 0^d005$. Полученные моменты минимумов следующие:

2434244.467
267.327
276.468
331.346
354.216

Кроме того, мною были просмотрены пластинки стеклянной библиотеки Гос. астрономического института им. Штернберга; на восемнадцати из них звезда имеет ослабленный блеск. 3 из этих 18 оценок попадают на минимумы, прослеженные мною визуально. Остальные 15 дают следующие 4 момента минимумов:

2428729.490
28752.400
29461.180
29493.160

Таблица 1

Средняя кривая блеска (по визуальным наблюдениям)

Фаза	Ст	n	Фаза	Ст	n	Фаза	Ст	n	Фаза	Ст	n
0.007	19.34	6	0.038	27.64	6	0.147	3.74	6	0.905	3.69	6
0.014	26.23	6	0.042	27.26	6	0.316	3.75	6	0.952	4.85	6
0.021	27.36	6	0.046	26.35	6	0.585	4.24	6	0.985	8.27	6
0.027	27.47	6	0.052	19.82	6	0.676	3.68	6	0.999	14.12	6
0.032	27.47	6	0.076	7.80	6	0.786	3.70	6			

В табл. 2 приводится сводка всех эпох минимумов, опубликованных до 1952 г. включительно. Отброшены только наблюдения *Пикеринга* [13], представляющие собой не моменты минимумов, а моменты ослаблений блеска. Следует отметить, однако, что они не противоречат другим наблюдениям.

Таблица 2

Сводка моментов минимумов SW Лебеда

№№ пп	E	J. D.	O — C ₁	O — C ₂	n	Вес	Наблюдатель	Ссылка
1	—1090	2413456.324	—0 ^d 090	+0 ^d 011	—	1	Дэган и Райт	1
2	— 850	14553.805	—0.080	+0.014	—	1	»	1
3	— 810	736.732	—0.064	+0.028	—	1	»	1
4	— 800	782.448	—0.062	+0.015	15	3	Блазиско	2
5	— 797	796.192	—0.051	+0.041	11	1	»	2
6	— 795	805.318	—0.070	+0.021	15	3	»	2
7	— 794	809.891	—0.070	+0.021	17	1	Уэнделл	3
8	— 793	814.461	—0.073	+0.019	17	1	»	3
9	— 790	828.182	—0.070	+0.021	—	1	Дэган и Райт	1
10	— 789	832.752	—0.073	+0.018	26	3	Уэнделл	3
11	— 788	837.327	—0.071	+0.020	14	3	Блазиско	2
12	— 786	846.470	—0.073	+0.018	11	1	Уэнделл	3
13		.474	—0.069	+0.022	33	3	Блазиско	2
14		.478	—0.065	+0.026	—	1	Гартвиг	4
15	— 784	855.624	—0.065	+0.026	7	1	Уэнделл	3
16	— 783	860.196	—0.066	+0.025	22	1	Блазиско	2
17	— 782	864.764	—0.070	+0.020	8	1	Уэнделл	3
18	— 781	869.346	—0.061	+0.030	8	1	Паркхерст	5
19		.348	—0.059	+0.032	17	1	Блазиско	2
20	— 779	878.485	—0.068	+0.023	20	1	»	2
21	— 774	904.354	—0.063	+0.028	4	1	»	2
22	— 770	919.627	—0.081	+0.010	18	1	»	2
23		.634	—0.074	+0.017	9	1	Уэнделл	3
24	— 767	933.356	—0.070	+0.020	30	3	Блазиско	2
25		.360	—0.066	+0.024	3	1	Уэнделл	3
26	— 765	942.504	—0.68	+0.022	12	1	»	3
27	— 764	947.085	—0.60	+0.031	13	1	Блазиско	2
28	— 763	951.650	—0.067	+0.033	7	1	Уэнделл	3
29	— 760	965.380	—0.056	+0.034	7	1	»	3
30	— 756	983.661	—0.066	+0.024	16	1	»	3
31	— 749	15015.675	—0.062	+0.028	3	1	»	3
32	— 746	029.392	—0.063	+0.027	4	1	»	3
33	— 742	047.677	—0.069	+0.020	4	1	»	3
34	— 730	102.569	—0.051	+0.039	15	1	Блазиско	2
35	— 723	134.573	—0.056	+0.033	14	1	»	2
36	— 718	157.440	—0.053	+0.036	12	1	»	2
37	— 716	166.574	—0.065	+0.024	11	1	»	2
38	— 715	171.149	—0.063	+0.026	7	1	»	2
39	— 709	198.600	—0.048	+0.040	12	1	»	2
40	— 704	221.444	—0.068	+0.020	21	1	»	2
41	— 700	239.735	—0.068	+0.020	—	1	Дэган и Райт	1
42	— 697	253.460	—0.062	+0.026	30	2	Блазиско	2
43	— 692	276.319	—0.067	+0.021	15	1	»	2
44	— 687	299.204	—0.046	+0.042	8	1	»	2
45	— 667	390.653	—0.053	+0.035	4	1	Уэнделл	3
46	— 664	404.369	—0.055	+0.032	4	1	»	3
47	— 640	514.129	—0.042	+0.044	14	1	Блазиско	2
48	— 634	541.554	—0.054	+0.032	19	1	»	2
49		.556	—0.052	+0.034	5	1	Уэнделл	3
50	— 625	582.710	—0.053	+0.033	5	1	»	3
51	— 615	628.438	—0.053	+0.033	17	1	Блазиско	2
52	— 612	642.163	—0.046	+0.039	24	1	»	2
53	— 610	651.298	—0.057	+0.028	22	3	»	2
54	— 601	692.465	—0.055	+0.040	—	1	Гартвиг	4
55	— 598	706.185	—0.043	+0.042	15	1	Блазиско	2
56	— 597	710.754	—0.045	+0.038	5	1	Уэнделл	3
57	— 594	724.477	—0.042	+0.042	5	1	»	3
58	— 580	788.501	—0.037	+0.047	—	1	Дэган и Райт	1
59	— 528	16026.288	—0.036	+0.047	26	2	Блазиско	2
60	— 484	227.494	—0.033	+0.048	4	1	»	2

Т а б л и ц а 2 (продолжение)

№№ пп	E	J. D.	O — C ₁	O — C ₂	n	Вес	Наблюдатель	Ссылка
61	— 458	2416346.386	—0 ^d 033	+0 ^d 047	30	2	<i>Блажско</i>	2
62	— 450	382.974	—0.027	+0.052	—	1	<i>Дэган и Райт</i>	1
63	— 404	593.326	—0.024	+0.054	14	2	<i>Блажско</i>	2
64	— 381	698.506	—0.018	+0.059	13	1	»	2
65	— 371	744.234	—0.018	+0.059	33	2	»	2
66	— 369	753.379	—0.019	+0.059	12	1	»	2
67	— 355	817.398	—0.019	+0.058	5	1	<i>Уэнделл</i>	3
68	— 301	17064.342	—0.006	+0.069	5	1	<i>Графф</i>	6
69	— 299	073.479	—0.014	+0.061	5	1	»	6
70	— 297	082.640	+0.001	+0.076	9	1	»	6
71	— 287	128.358	—0.009	+0.064	13	1	»	6
72	— 285	137.508	—0.004	+0.070	14	1	»	6
73	— 280	160.367	—0.009	+0.065	10	2	»	6
74	— 264	233.526	—0.015	+0.059	6	1	»	6
75	— 220	434.731	—0.013	+0.060	—	1	<i>Дэган и Райт</i>	1
76	— 137	814.267	—0.018	+0.052	8	1	<i>Графф</i>	6
77	— 135	823.426	—0.005	+0.064	11	2	»	6
78	— 133	832.580	+0.003	+0.073	6	1	»	6
79	— 4	18422.466	—0.001	+0.064	10	1	<i>Нейланд</i>	7
80	— 2	431.611	—0.001	+0.064	12	1	»	7
81	+ 10	486.489	+0.003	+0.068	—	1	<i>Дэган и Райт</i>	1
82	+ 12	495.624	—0.008	+0.057	5	1	<i>Уэнделл</i>	3
83	+ 19	527.644	+0.003	+0.067	5	1	<i>Нейланд</i>	7
84	+ 22	541.359	0.000	+0.064	8	1	»	7
85	+ 26	559.658	+0.007	+0.072	4	1	»	7
86	+ 41	628.243	+0.001	+0.064	7	1	»	7
87	+ 45	646.532	—0.002	+0.062	6	1	»	7
88	+ 53	683.114	—0.002	+0.061	4	1	»	7
89	+ 60	715.132	+0.006	+0.069	4	1	»	7
90	+ 64	733.423	+0.006	+0.069	5	1	»	7
91	+ 68	751.712	+0.004	+0.067	11	1	»	7
92	+ 75	783.720	+0.003	+0.065	4	1	»	7
93	+ 99	893.467	+0.003	+0.064	7	1	»	7
94	+ 116	971.206	+0.004	+0.065	9	1	»	7
95	+ 122	998.641	+0.002	+0.063	4	1	»	7
96	+ 137	19067.237	+0.006	+0.067	6	1	»	7
97	+ 153	140.407	+0.012	+0.072	11	1	»	7
98	+ 160	172.414	+0.009	+0.069	7	1	»	7
99	+ 176	245.575	+0.006	+0.065	8	1	»	7
100	+ 180	263.849	—0.012	+0.047	—	2	<i>Дэган и Райт</i>	1
101	+ 190	309.591	+0.002	+0.061	5	1	<i>Нейланд</i>	7
102	+ 198	346.182	+0.011	+0.070	8	1	»	7
103	+ 214	419.341	+0.005	+0.063	5	1	»	7
104	+ 230	492.508	+0.008	+0.065	5	1	»	7
105	+ 237	524.514	+0.004	+0.061	12	2	»	7
106	+ 268	666.272	+0.006	+0.062	8	1	»	7
107	+ 272	684.560	+0.002	+0.058	10	2	»	7
108	+ 284	739.444	+0.013	+0.069	7	1	»	7
109	+ 430	20407.052	—0.007	+0.044	—	2	<i>Дэган и Райт</i>	1
110	+ 670	21504.489	—0.040	+0.003	—	2	»	1
111	+ 890	22510.493	—0.050	—0.015	—	2	»	1
112	+1100	23470.760	—0.070	—0.041	—	2	»	1
113	+1209	969.177	—0.087	—0.062	2	1	<i>Блажско</i>	2
114	+1211	978.344	—0.065	—0.041	11	1	»	2
115	+1293	24353.299	—0.079	—0.057	6	1	»	2
116	+1297	371.578	—0.092	—0.070	14	1	»	2
117	+1298	376.158	—0.084	—0.062	9	1	»	2
118	+1307	417.315	—0.083	—0.061	20	2	»	2
119	+1312	440.176	—0.088	—0.064	18	1	»	2
120	+1330	522.492	—0.080	—0.059	—	2	<i>Дэган и Райт</i>	1
121	+1475	25185.550	—0.077	—0.060	—	2	<i>Кордылевская</i>	8
122	+1650	985.795	—0.070	—0.060	—	2	<i>Дэган и Райт</i>	1

Таблица 2 (продолжение)

№ п/п	E	J. D.	$O - C_1$	$O - C_2$	n	Вес	Наблюдатель	Ссылка
123	+1980	2427494.820	-0 ^d 067	-0 ^d 067	—	2	Дэган и Райт	1
124	+2120	28135.022	-0.056	-0.061	—	2	»	1
125	+2210	546.586	-0.043	-0.051	—	2	»	1
126	+2250	729.490	-0.051	-0.060	4	0.5	Словохотова	—
127	+2255	752.400	-0.005	-0.014	5	0.5	»	—
128	+2410	29461.180	-0.007	-0.022	3	0.5	»	—
129	+2417	493.160	-0.037	-0.052	3	0.5	»	—
130	+3184	33000.619	+0.090	+0.050	—	2	Щепановская	9
131	+3222	174.383	+0.089	+0.047	—	2	»	10
132	+3366	832.88	+0.10	+0.06	—	3	Табачник	—
133	+3456	34244.467	+0.139	+0.089	12	1	Словохотова	—
134	+3461	267.327	+0.135	+0.085	22	2	»	—
135	+3463	276.468	+0.130	+0.081	24	1	»	—
136	+3475	331.346	+0.135	+0.085	12	2	»	—
137	+3480	354.216	+0.144	+0.091	3	1	»	—

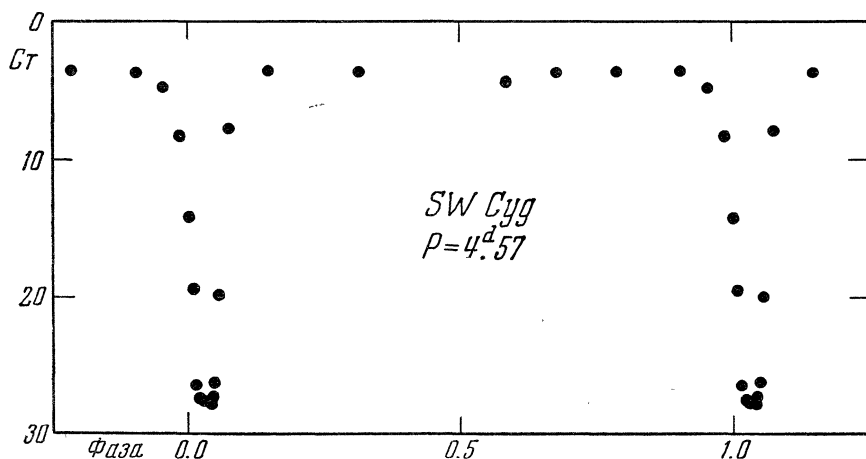


Рис. 4

В таблице минимумов приняты следующие обозначения:

E — номер эпохи, считая от приведенной в ОКПЗ; n — число наблюдений, по которым выведена данная эпоха; $O - C_1$ вычислялись от элементов ОКПЗ: $\text{Min} = \text{J. D. } 2418440.758 + 4.5727923 E$.

С помощью значений $O - C_1$ была найдена предварительная поправка периода $\Delta P = +0.0000331$ и начальной эпохи $\Delta T_0 = -0.065$. $O - C_2$ вычислялись от элементов:

$$\text{Min} = \text{J. D. } 2418440.693 + 4.5728254 E.$$

Из 137 значений $O - C_2$ было составлено 13 средних точек (табл. 3).

Таблица 3

№ п/п	№№ E по табл. 2	$\bar{E}$	$\bar{\text{J. D.}}$	$\overline{O - C_2}$	Вес	$\overline{O - C_3}$	$\overline{O - C_4}$	$(\overline{O - C_3}) - (\overline{O - C_4})$
1	1—8	— 827	2414658.986	+0 ^d 020	12	+0 ^d 101	+0 ^d 102	-0 ^d 001
2	9—38	— 768	928.787	+0.024	38	+0.104	+0.107	-0.003
3	39—57	— 645	15491.254	+0.033	22	+0.112	+0.116	-0.004
4	58—67	— 439	16433.276	+0.053	14	+0.129	+0.129	0.000
5	68—78	— 235	17366.144	+0.065	13	+0.138	+0.138	0.000
6	79—93	+ 39	18619.098	+0.065	15	+0.134	+0.137	-0.003
7	94—108	+ 197	19341.603	+0.063	17	+0.131	+0.129	+0.002
8	109—111	+ 663	21472.487	+0.011	6	+0.072	+0.074	-0.002
9	112—117	+1215	23996.623	-0.053	7	+0.001	+0.005	-0.004
10	118—122	+1426	24961.482	-0.060	9	-0.009	-0.009	0.000
11	123—129	+2161	28322.515	-0.054	8	-0.012	-0.009	-0.003
12	130—131	+3203	33087.501	+0.048	4	+0.076	+0.071	+0.005
13	132—137	+3437	2434157.572	+0.078	10	+0.103	+0.090	+0.013

Вес эпох определялся следующим образом:

Вес эпохи, определенной по 14 и более хорошо распределенным точкам, принимался равным 3; по наблюдениям, покрывающим одну ветвь кривой и захватывающим часть другой — 2; остальным эпохам приписывался вес, равный 1, за исключением эпох, определенных мною по пластинкам, которым придан вес 0.5.

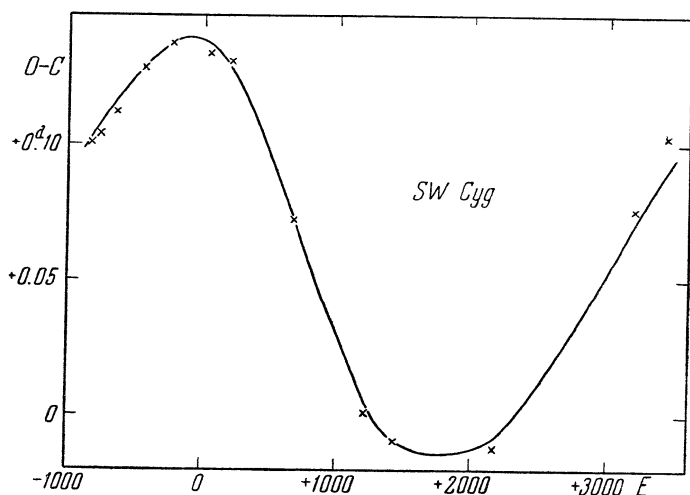


Рис. 5

Для удобства вычислений все дальнейшие операции проводились с графиком $\overline{O-C_2}$, построенным от начальной эпохи J. D. 2418440.623, причем значения $\overline{O-C_2}$ выражались в долях периода.

Для определения предварительных элементов орбиты по кривой $\overline{O-C_2}$ применялся метод *Вольтера* [16]. Сначала по этому методу определялась постоянная часть z_0 светового уравнения

$$z = z_0 + at + r \sin i \sin(v + \omega)$$

по формуле

$$z_0 = \frac{3}{2}(z_1 + z_2) - \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} z dt,$$

где z_1 и z_2 максимальное и минимальное значения z , снятые с кривой $\overline{O-C_2}$; величина интеграла определялась графическим интегрированием. Затем был получен наклон касательных к кривой $\overline{O-C_2}$ в точках ее пересечения с прямой, перпендикулярной оси ординат и проходящей на расстоянии z_0 от начала координат. В этих точках переменная часть светового уравнения равна 0, т. е. $\sin(v + \omega) = 0$, и тогда легко найти $e \sin \omega$, $e \cos \omega$ и $a \sin i$ по формулам [16]:

$$e \cos \omega = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2},$$

$$c = a \sin i = \frac{\frac{1}{2}(z_1 - z_2)}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \omega}},$$

$$e \sin \omega = \frac{z_1 + z_2 - \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} z dt}{a \sin i}.$$

В момент прохождения через периастр световое уравнение принимает вид:

$$z' = z_0 + a \sin i (1 - e) \sin \omega,$$

так как $v = N = 0$ (v — истинная аномалия; N — эксцентрическая аномалия).

С помощью вычисленного по этой формуле значения z' с графика $O - C_2$ был снят соответствующий номер эпохи.

Итак, были получены следующие предварительные элементы орбиты:

$$z_0 = 0^{\text{p}}0176 = 13.94 \text{ а. е.}$$

$$\alpha = 0^{\text{p}}0$$

$$c = 0^{\text{p}}0146 = 11.57 \text{ а. е.}$$

$$e = 0.20$$

$$\omega = 137^\circ.$$

$$T \text{ (момент прохождения через периастр)} = 360 \text{ } E (M_0 = -34^\circ.56)$$

$$II = 3750 \text{ } P$$

$$P = 4.^{\text{d}}5728254$$

Далее, по формуле

$$z = \Delta p E + z_0 + a \sin i (1 - e \cos N) \sin (v + \omega),$$

в соответствии с принятой предварительной орбитой были вычислены z -координаты в моменты средних точек. Поправка периода Δp найдена раньше и равна $+0.^{\text{d}}0000331$. Значения Δz , полученные как разности наблюдаемых и вычисленных z вместе с предварительными элементами орбиты, были подставлены в формулу для Δz , вывод которой дан в работе *Васильевой* [15].

$$\begin{aligned} \Delta z = & \Delta z_0 + \Delta \alpha (t - t_0) + \Delta c [\sqrt{1 - e^2} \cos \omega \sin N + (\cos N - e) \sin \omega] + \\ & + \Delta \omega \cdot c [(\cos N - e) \cos \omega - \sqrt{1 - e^2} \sin \omega \sin N] + \\ & + \Delta e \cdot c \left\{ \frac{\sin N}{\sqrt{1 - e^2} (1 - e \cos N)} [(\cos N - e) \cos \omega - \right. \\ & \left. - \sqrt{1 - e^2} \sin \omega \sin N] - \sin \omega \right\} + \\ & + c \frac{(t - t_0) \Delta n + \Delta M_0}{1 - e \cos N} [\sqrt{1 - e^2} \cos \omega \cos N - \sin \omega \sin N]. \end{aligned} \quad (1)$$

При этом было получено 13 условных уравнений вида (2):

$$\Delta z = \Delta z_0 + A \Delta \alpha + B \Delta c + C \Delta \omega + D \Delta e + E \Delta n + F \Delta M_0. \quad (2)$$

Система была решена способом наименьших квадратов, в результате чего получены следующие поправки к предварительно принятым элементам:

$$\begin{aligned}\Delta z_0 &= -1.74 \text{ а. е. } \pm 0.67 \\ \Delta \alpha &= +0^{\text{d}}.0000132 \pm 0.0000027 \\ \Delta c &= +2.37 \text{ а. е. } \pm 0.39 \\ \Delta e &= +0.06 \pm 0.04 \\ \Delta \omega &= +16^{\circ}.85 \pm 12^{\circ}.37 \\ \Delta M_0 &= -6^{\circ}.49 \pm 10^{\circ}.64 \\ \Delta n &= -0^{\circ}.01428/p \pm 0^{\circ}.00364.\end{aligned}$$

Окончательные элементы:

$$\begin{aligned}z_0 &= 12.20 \text{ а. е. } \pm 0.67 \\ \alpha &= +0^{\text{d}}.0000132 \pm 0.0000027 \\ c &= 13.94 \text{ а. е. } \pm 0.39 \\ e &= 0.26 \pm 0.04 \\ \omega &= 153^{\circ}.9 \pm 12^{\circ}.3 \\ M_0 &= -41^{\circ}.05 \pm 10^{\circ}.64 \\ n &= 0^{\circ}.08172/P \pm 0^{\circ}.00364 \\ P &= 4405 P \pm 140 P.\end{aligned}$$

Предполагалось, что ошибку α надо полностью отнести за счет неточности периода затменной звезды. Тогда исправленный период $P = 4^{\text{d}}.5728386$.

В табл. 3 в столбце $O - C_3$ даны отклонения $\overline{J. D.}$ от моментов, вычисленных по формуле:

$$\text{Min} = J. D. 2418440.623 + 4.5728386 \cdot E. \quad (3)$$

На графике $O - C$ эти значения нанесены крестиками.

Отклонения моментов, вычисленных по формуле (3), от вычисленных по формуле:

$$\text{Min} = J. D. 2418440.623 + 4.5728386E + z_0 + a \sin i (1 - e \cos N) \sin (v + \omega)$$

приводятся в столбце $\overline{O - C_4}$, причем принималось $a \sin i = 0^{\text{f}}.0176 = 0^{\text{d}}.080$; постоянная поправка $z_0 = +0^{\text{p}}.0154 = +0^{\text{d}}.070$ (получена в результате перехода от начальной эпохи, выбранной произвольно, к начальной эпохе, соответствующей прохождению затменной через точку пересечения орбиты с плоскостью, перпендикулярной лучу зрения и проходящей через ее фокус). Сплошной линией проведена теоретическая кривая, которая получилась бы в том случае, если бы затменная двигалась по орбите, элементы которой получены в результате решения системы 13 условных уравнений (2), а наблюдения были бы идеально точны.

Визуальные наблюдения *SW Лебедя*

J. D.	Ст.	J. D.	Ст.	J. D.	Ст.	J. D.	Ст.	J. D.	Ст.
2434...		2434...		2434...		2434...		2434...	
238.295	3.65	242.450	4.94	250.510	3.65	267.449	14.66	276.467	28.04
.308	3.29	.481	3.65	264.197	3.65	.466	14.08	.480	28.04
.324	4.12	.515	4.39	.217	3.96	.481	12.91	.490	28.04
.356	3.65	243.226	3.29	.420	3.65	.517	8.08	.514	28.04
.381	3.58	.256	3.96	265.179	4.39	.533	4.39	.526	27.36
239.242	3.29	.328	3.58	.253	4.12	.546	3.76	.539	26.90
.280	3.29	.374	4.12	.383	3.76	276.207	3.96	.546	26.90
.319	3.65	.418	3.65	267.217	22.02	.224	4.39	331.197	15.01
.338	4.12	.459	3.58	.237	22.02	.238	6.58	.224	16.41
.354	3.65	244.284	6.58	.249	25.96	.248	8.38	.244	20.08
.384	4.12	.334	12.91	.266	26.57	.263	8.83	.276	26.67
.406	3.96	.348	15.01	.280	26.57	.274	9.28	.333	28.04
.446	3.65	.380	24.62	.292	26.57	.290	9.98	.370	28.04
.523	6.58:	.414	28.04	.303	26.90	.309	11.08	.382	28.04
.546	6.58:	.424	28.04	.313	26.90	.324	12.91	.397	28.04
240.242	3.58	.461	26.67	.325	26.90	.341	16.41	.412	26.90
.304	3.58	.476	26.67	.335	27.36	.356	17.64	.426	24.62
.336	3.29	.498	26.33	.345	28.04	.375	18.61	.436	23.49
.426	4.39	.519	26.33	.352	28.04	.393	26.67	.447	21.90
.455	3.96	.536	25.76	.365	27.36	.408	26.90	354.280	28.04
.501	3.58	.546	24.62	.381	28.04	.424	26.90	.292	25.86
.519	3.65	250.234	3.81	.392	26.90	.441	28.04	.326	17.87
242.416	3.96	.391	3.76	.431	16.41	.452	28.04		

TW Дракона

Переменность TW Дракона была обнаружена *Кеннон* на гарвардских пластинках в 1910 г. [19]. Она предположила, что это затменная типа Алголя. Почти одновременно *С. Н. Блажко* [18] и *Гартвиг* [43] уверенно установили переменность типа Алголя и дали приближенные элементы:

Блажко: $\text{Min} = \text{J. D. } 2418906.451 + 2.8070 E$,

Гартвиг: $\text{Min} = \text{J. D. } 2418951.359 + 2.8065 E$.

Блажко указал на возможность изменения периода.

В дальнейшем многие исследователи подтверждали переменность периода.

Мною были собраны все опубликованные до 1952 г. включительно моменты минимумов этой звезды, в том числе и мои, полученные по наблюдениям на Абастуманской обсерватории. Все они, кроме одного минимума *Лаццарино*, приведены в табл. 5.

Вследствие того что очень велик промежуток времени, за который изменение периода завершает полный цикл, сейчас еще нельзя делать заключений о характере и причинах переменности периода.

В табл. 5 приняты следующие обозначения: n — число наблюдений, охватывающих данный минимум, E — номер эпохи, $O - C_1$ — отклонения от элементов ОКПЗ:

$$\text{Min} = \text{J. D. } 2423711.321 + 2.80664 E.$$

Обработка моих наблюдений и оценка весов моментов минимумов проводились так же, как для SW Лебедя.

№ п/п	<i>E</i>	<i>J. D.</i>	<i>O — C</i>	<i>n</i>	Вес	Наблюдатель	Ссылка
1	—8508	2399833.429	+14001	1	1	<i>Шонфельд</i>	17
2	—7001	2404663.295	+1.261	1	1	<i>Дембовский</i>	17
3	—3319	14396.302	+0.219	1	1	<i>Блажско</i>	18
4	—3197	738.772	+0.279	1	1	<i>Кеннон</i>	19
5	—3052	15145.705	+0.249	1	1	»	19
6	—2368	17065.305	+0.108	1	1	<i>Блажско</i>	18
7	—2035	999.940	+0.131	1	1	<i>Кеннон</i>	19
8	—1899	18381.602	+0.090	1	1	»	19
9	—1890	406.884	+0.113	1	1	»	19
10	—1712	906.453	+0.100	—	1	<i>Гадомский</i>	20
11	—1696	951.358	+0.100	19	1	<i>Гартвиг</i>	21
12	—1690	968.197	+0.098	13	1	»	21
13	—1685	982.230	+0.097	13	1	»	21
14	—1651	19077.660	+0.102	5	1	<i>Нейланд</i>	22
15	—1645	094.485	+0.087	6	1	»	22
16	—1644	097.291	+0.086	9	1	»	22
17	—1634	125.361	+0.090	3	1	»	22
18	—1624	153.423	+0.085	5	1	»	22
19	—1620	164.639	+0.075	5	1	»	22
20	—1609	195.535	+0.098	5	1	»	22
21	—1599	223.570	+0.066	6	1	»	22
22	—1594	237.619	+0.082	7	1	»	22
23	—1593	240.458	+0.115	5	1	»	22
24	—1588	254.454	+0.077	6	1	»	22
25	—1562	327.424	+0.075	8	2	»	22
26	—1562	.435	+0.086	—	1	<i>Ленерт</i>	17
27	—1558	338.658	+0.082	6	1	<i>Нейланд</i>	22
28	—1541	386.380	+0.091	7	1	»	22
29	—1526	428.464	+0.076	9	1	»	22
30	—1521	442.501	+0.072	6	1	»	22
31	—1494	518.279	+0.078	5	1	»	22
32	—1485	543.543	+0.082	5	1	»	22
33	—1484	546.348	+0.080	4	1	»	22
34	—1479	560.390	+0.090	3	1	»	22
35	—1459	616.499	+0.066	7	1	»	22
36	—1444	658.599	+0.066	9	1	»	22
37	—1443	661.412	+0.073	10	2	»	22
38	—1439	672.638	+0.072	4	1	»	22
39	—1438	675.446	+0.073	—	1	<i>Ленерт</i>	17
40	—1392	804.558	+0.080	3	1	<i>Нейланд</i>	22
41	—1391	807.351	+0.066	28	3	<i>Графф</i>	23
42		.357	+0.072	9	1	<i>Нейланд</i>	22
43	—1387	818.583	+0.072	4	1	»	22
44	—1386	821.388	+0.070	15	1	<i>Графф</i>	23
45		.391	+0.073	6	1	<i>Нейланд</i>	22
46	—1385	824.190	+0.067	10	1	<i>Графф</i>	23
47	—1375	825.247	+0.056	5	1	<i>Нейланд</i>	22
48	—1371	863.481	+0.063	17	1	<i>Графф</i>	23
49	—1370	866.274	+0.050	6	1	»	23
50	—1330	978.552	+0.062	20	1	»	23
51		.554	+0.064	—	1	<i>Ленерт</i>	17
52	—1324	995.404	+0.074	4	1	<i>Нейланд</i>	22
53	—1320	20006.624	+0.068	8	1	»	22
54	—1319	009.424	+0.061	13	1	<i>Графф</i>	23
55	—1315	020.672	+0.083	3	1	<i>Нейланд</i>	22
56	—1314	023.458	+0.062	11	1	»	22
57		.460	+0.064	—	1	<i>Ленерт</i>	17
58		.464	+0.068	—	1	<i>Хоффмейстер</i>	17
59		.468	+0.072	18	1	<i>Гартвиг</i>	21
60	—1313	026.289	+0.079	6	1	<i>Нейланд</i>	22
61	—1309	037.491	+0.062	—	1	<i>Хоффмейстер</i>	17
62		.498	+0.069	—	1	<i>Ленерт</i>	17

Т а б л и ц а 5 (продолжение)

№ п/п	E	α , D.	O—C	n	Вес	Наблюдатель	Ссылка
63	—1308	2420040.291	+0 ^d .055	3	1	Нейланд	22
64		.301	+0.065	—	1	Хоффмейстер	17
65		.310	+0.074	15	1	Графф	23
66	—1303	054.335	+0.066	6	1	Нейланд	22
67		.342	+0.073	—	1	Хоффмейстер	17
68	—1298	068.381	+0.079	—	1	»	17
69	—1279	121.689	+0.061	7	1	Нейланд	22
70	—1273	138.526	+0.058	7	1	»	22
71	—1262	169.400	+0.059	12	1	»	22
72		.401	+0.060	15	1	Графф	23
73	—1246	214.319	+0.071	5	1	»	23
74	—1237	239.576	+0.069	18	2	Нейланд	22
75	—1236	242.379	+0.065	10	1	»	22
76	—1231	256.413	+0.066	10	1	»	22
77	—1226	270.447	+0.067	8	1	»	22
78	—1195	357.433	+0.047	12	1	»	22
79	—1185	385.502	+0.049	8	1	»	22
80	—1159	458.485	+0.060	10	1	»	22
81	—393	22608.321	+0.010	7	1	Графф	23
82	—388	622.353	+0.008	8	1	»	23
83	—337	765.481	—0.002	8	1	Элсворт	24
84	—326	796.349	—0.007	5	1	»	24
85	—321	810.389	—0.001	11	1	»	24
86	—311	838.470	+0.014	11	1	»	24
87	—310	841.271	+0.008	7	1	»	24
88	—305	855.289	—0.007	3	1	»	24
89	—300	869.297	—0.032	4	1	»	24
90	—296	880.581	+0.025	4	1	»	24
91	—295	883.338	—0.024	3	1	»	24
92	—290	897.422	+0.027	8	1	»	24
93	—269	956.328	—0.007	3	1	»	24
94	—265	967.566	+0.005	—	1	Хеллерих	17
95	—244	23026.508	+0.007	—	1	»	25
96	—181	203.317	—0.002	4	1	Элсворт	24
97	—151	287.505	—0.013	7	1	»	24
98	—140	318.410	+0.019	10	1	»	24
99	—131	343.614	—0.037	3	1	»	24
100	—74	503.598	—0.032	4	1	»	24
101	—68	520.461	—0.008	7	1	»	24
102	—57	551.342	—0.001	—	1	Гадомский	26
103	0	711.321	0.000	32	2	Бейер	27
104	+37	815.171	+0.004	3	1	Элсворт	24
105	+51	854.460	0.000	24	3	Бейер	27
106		.488	+0.028	9	1	Элсворт	24
107	+52	857.251	—0.015	3	1	»	24
108	+57	871.278	—0.021	3	1	»	24
109	+67	899.388	+0.022	6	1	»	24
110	+175	24202.466	—0.017	7	1	»	24
111	+305	567.352	+0.006	7	1	»	24
112	+356	710.480	—0.004	4	1	»	24
113	+382	783.437	—0.020	3	1	»	24
114	+439	943.433	—0.003	2	1	»	24
115	+460	25002.302	—0.073	4	1	»	24
116	+464	013.566	—0.036	6	1	»	24
117	+589	364.438	+0.006	—	2	Мергенталер	28
118	+630	479.518	+0.014	27	2	Пагачевский	29
119	+765	858.402	+0.001	13	1	»	29
120	+822	26018.383	+0.004	—	1	Яккия	28
121	+1039	627.433	+0.013	—	1	Анерт	30
122	+1157	26958.591	—0.012	—	1	Вармбер	32
123	+1277	27295.398	+0.018	—	1	Кордылевская	31
124	+1396	629.421	+0.031	—	1	Боле	33
125	+1479	27862.336	—0.006	26	2	Шафранец	34
126	+1483	873.608	+0.040	—	1	Боле	33

Таблица 5 (продолжение)

№ п/п	E	J. D.	$O - C$ d	n	Вес	Наблюдатель	Ссылка
127	+1552	2428067.305:	+0.079:	—	1	»	33
128	+1649	339.443	—0.027	—	1	»	33
129	+1794	746.396	—0.037	—	1	»	33
130	+3075	32341.885	+0.146	—	1	Смит	36
131	+3076	372.759	+0.147	—	1	Буд	37
132	+3082	389.600	+0.148	—	1	»	37
133	+3086	400.823	+0.145	—	1	»	37
134	+3091	414.860	+0.148	—	1	»	37
135	+3129	493.446	+0.148	13	2	Шафранец	34
136	+3171	611.322	+0.146	47	1	Щепановская	35
137	+3196	681.505	+0.163	24	2	Шафранец	38
138	+3289	942.537	+0.177	18	2	Анерт	44
139	+3310	33001.476	+0.177	—	2	Щепановская	38
140	+3321	032.351	+0.179	—	2	Шафранец	38
141	+3331	060.427	+0.188	—	1	Поль	39
142	+3383	206.385	+0.201	—	2	Щепановская	40
143	+3404	265.308	+0.176	—	1	Поль	39
144	+3420	310.243	+0.213	—	1	»	39
145	+3425	324.266	+0.203	7	1	»	39
146	+3465	436.560:	+0.231:	—	1	Домке	39
147		.552	+0.223	—	2	Поль	39
148	+3491	509.527	+0.226	18	1	Венцель	39
149		.525	+0.224	—	1	Поль	39
150	+3512	568.460	+0.219	—	1	Венцель	41
151	+3513	571.278	+0.231	—	2	Щепановская	40
152	+3522	596.541	+0.234	—	2	»	40
153	+3574	742.488:	+0.236:	—	1	Венцель	41
154	+3580	759.334	+0.242	—	1	»	41
155	+3626	888.442	+0.244	—	1	Шафранец	40
156		.454	+0.256	—	1	Венцель	41
157	+3745	34222.473	+0.285	—	2	Шафранец	42
158	+3751	239.332	+0.304	11	2	Словохотова	
159	+3761	267.394	+0.300	17	2	»	

Примечание. №№ 1—9 — моменты ослабления, но очень хорошо ложатся на общую кривую.

Таблица 6

Средняя кривая блеска

Фаза	Ст	n	Фаза	Ст	n	Фаза	Ст	n	Фаза	Ст	n
0.048	8.59	3	0.096	20.14	3	0.142	9.60	3	0.462	8.54	3
0.057	9.32	3	0.106	22.58	3	0.220	8.99	3	0.615	8.59	3
0.069	9.84	3	0.118	21.03	3	0.270	8.49	3	0.874	8.41	3
0.076	12.40	3	0.123	17.31	3	0.356	8.58	3	0.994	8.66	3
0.084	15.12	3	0.129	11.90	3						

Из приведенных 159 моментов максимумов были составлены 9 средних точек (см. табл. 7).

Таблица 7

№ п/п	№№ E по табл. 5	$\bar{E}$	J. D.	$\overline{O-C_1}$	Вес	$q_1 E^*$	$q_2 E^*$	$\overline{O-C_2}$	$\overline{O-C_3}$
1	1—2	—7754	2401949.765	+1.131	2	+1.172	+1.136	—0.041	—0.005
2	3—9	—2537	16591.045	+0.170	7	+0.126	+0.122	+0.044	+0.048
3	10—39	—1563	19324.626	+0.083	32	+0.048	+0.046	+0.035	+0.037
4	40—80	—1309	20037.495	+0.066	44	+0.033	+0.032	+0.033	+0.034
5	81—102	—248	23015.272	—0.002	22	+0.001	+0.001	—0.003	—0.003
6	103—120	+305	24567.342	—0.004	23	+0.002	+0.002	—0.006	—0.006
7	121—129	+1430	27724.825	+0.009	10	+0.040	+0.039	—0.031	—0.030
8	130—145	+3247	32824.651	+0.170	22	+0.206	+0.199	—0.036	—0.029
9	146—159	+3594	2433798.637	+0.252	20	+0.252	+0.244	0.000	+0.008

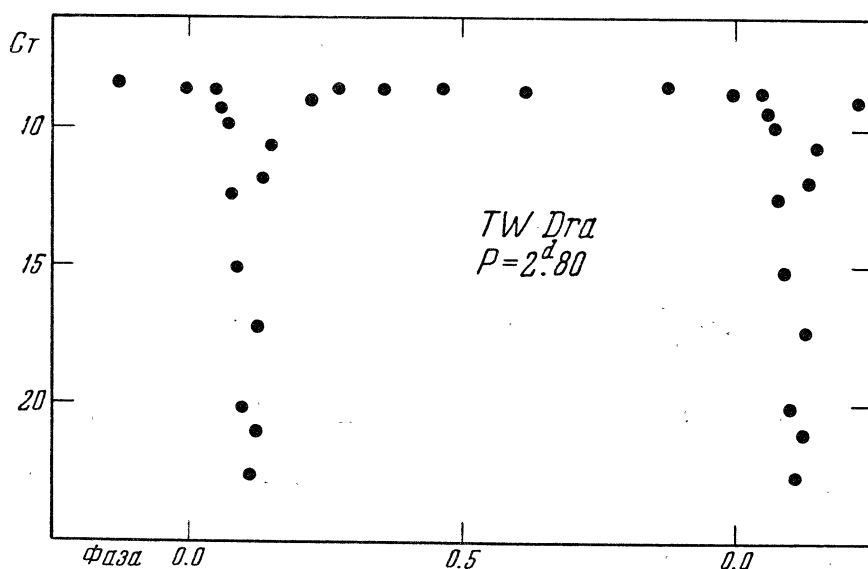


Рис. 6

Параболический член находился дважды: один раз из 9 условных уравнений, а второй раз из 8 (была отброшена средняя точка, включающая наблюдения Дембовского и Шонфельда, так как можно было предполагать, что они не надежны). Параболический член получился почти одинаковым в обоих случаях:

$$10^6 q_1 = +0^d.0195 \pm 0.0005 \text{ из 8 уравнений.}$$

$$10^6 q_2 = +0^d.0189 \pm 0.0005 \text{ из 9 уравнений.}$$

Это говорит о том, что наблюдения Дембовского и Шонфельда достаточно уверенны и что непротраченная часть кривой изменения периода

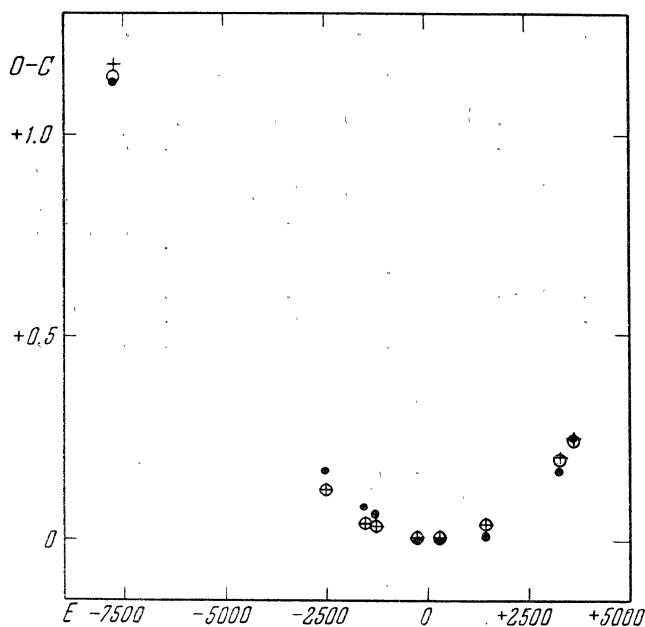


Рис. 7

(от $-7000 E$ до $-3300 E$) все же уверенно выявляется на основании точек, лежащих на прослеженной ее части.

На графике $O-C$ (рис. 7) сплошными кружками нанесены значения, полученные с элементами ОКПЗ (столбец $\overline{O-C_1}$ в табл. 7); пустыми кружками — теоретические значения $O-C$, подсчитанные с квадратичным членом $q_2 = +0.0189 \cdot 10^{-6}$, крестиками — значения с $q_1 = +0.0195 \cdot 10^{-6}$.

В табл. 7 в столбце $\overline{O-C_2}$ и $\overline{O-C_3}$ приведены отклонения наблюдаемых эпох от подсчитанных с элементами:

$$\text{Min} = \text{J. D. } 2423711.321 + 2.80664 E + 0.0195 \left(\frac{E}{1000} \right)^2. \quad (2)$$

$$\text{Min} = \text{J. D. } 2423711.321 + 2.80664 E + 0.0189 \left(\frac{E}{1000} \right)^2. \quad (3)$$

Наблюдения, приведенные в табл. 8, были произведены в Абастумани.

Звезды сравнения:

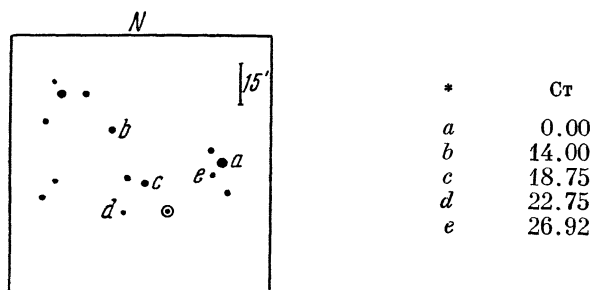


Рис. 8

Таблица 8

Визуальные наблюдения TW Дракона

J. D.	Ст	J. D.	Ст	J. D.	Ст	J. D.	Ст	J. D.	Ст
2434...		2434...		2434...		2434...		2434...	
238.317	9.30	239.417	9.30	250.237	8.49	265.378	8.24	267.375	20.75
.356	8.75	.443	9.88	.286	8.75	267.223	8.24	.392	21.04
239.258	14.00	240.240	8.84	.393	9.30	.247	9.30	.423	19.58
.273	16.41	.302	8.24	.405	9.30	.265	9.00	.432	18.75
.314	22.75	.426	8.54	.455	12.00:	.278	9.30	.438	16.41
.332	23.94	242.421	9.30	.469	11.20:	.290	9.94	.444	14.00
.349	22.75	.444	8.84	264.199	8.24	.301	10.27	.451	11.20
.365	20.75	.480	8.84	.214	8.75	.310	14.00	276.207	8.24
.379	16.74	243.325	8.24	.418	8.24	.323	14.95	.246	8.49
.400	10.50	.415	8.24	265.222	8.75	.347	18.92	.355	8.75
.408	9.62	244.333	8.24	.250	8.75	.362	20.75		

Л и т е р а т у р а

1. R. S. Dugan, F. W. Wright, Princ Contr 19, 30, 1939.
2. П. П. Паренаго, АЖ 8, 230, 1931.
3. O. C. Wendell, HA 69, 83, 1909.
4. E. Hartwig, GuL II, 250, 1920.
5. I. A. Parkhurst. AJ 20, 77, 1899.
6. K. Graff, Hamb Mitt 11, 30, 1907.
7. A. A. Nijland, Utrecht Rech IX, 2, 1926.
8. J. Kordylewska, SAC 8, 72, 1930.
9. A. Szczepanowska SAC 21, 81, 1950.
10. A. Szczepanowska SAC 24, 84, 1953.

11. *В. К. Цераский*, AN 149, 271, 1899.
12. *В. К. Цераский*, AN 149, 351, 1899.
13. *E. C. Pickering*, ApJ 10, 126, 1899.
14. *С. Н. Блажко*, BZ 7, 35, 1925.
15. *А. А. Васильева*, Тад бюлл 4, 1952.
16. *М. С. Зверев*, *Б. В. Кукаркин* и др., «Переменные звезды», т. III, гл. 13, 1947.
17. *J. Hellerich*, AN 217, 461, 1923.
18. *С. Н. Блажко*, AN 187, 42, 1911.
19. *E. C. Pickering*, HC 159, 1917.
20. *J. Gadowski*, BZ 18, 30, 1936.
21. *E. Hartwig*, Bamb Veröff 1, 453, 579, 1910.
22. *A. A. Nijland*, AN 244, 230, 1931.
23. *K. Graff*, AN 218, 21, 1923.
24. *J. Ellsworth*, Lyon Bull X, 33A, 1928.
25. *J. Hellerich*, BZ 4, 15, 1932.
26. *J. Gadowski*, SAC 3, 46, 1925.
27. *M. Beyer*, AN 234, 85, 1928.
28. *J. Mergentaler*, AAc 1, 36, 108, 1928.
29. *J. Pagaczewski*, Wars Circ, 21, 1945.
30. *P. Ahnert*, AN 250, 376, 1933.
31. *J. Kordylewska*, AAc II, 59, 1933.
32. *E. Warmbier*, SAC 11, 48, 1933.
33. *S. Böhme*, AN 266, 169, 1938.
34. *R. Szafraniec*, AAc IV, 83, 1948.
35. *A. Szczepanowska*, AAc IV, 117, 1950.
36. *B. Smith*, ApJ 109, 63, 1949.
37. *F. B. Wood*, AJ 56, 53, 1951.
38. *R. Szafraniec*, SAC 20, 82, 1949.
39. *E. Pohl*, AN 279, 178, 1950.
40. *A. Szczepanowska*, *R. Szafraniec*, SAC 23, 85, 1952.
41. *W. Wenzel*, MVS 140, 1951.
42. *R. Szafraniec*, SAC 24, 85, 1953.
43. *E. Hartwig*, AN 187, 11, 1911.
44. *P. Ahnert*, AN 278, 270, 1949.

Государственный астрономический институт
имени П. К. Штернберга
Москва, декабрь 1953 г.