

Изменения периода ST Персея и Y Льва М.А.Свечников, Л.П.Суркова

В статье изучаются изменения периода ST Per и Y Leo. Периоды этих звезд меняются скачкообразно. Обнаружен новый резкий скачок периода и получены новые элементы для ST Per. Потеря массы, необходимая для объяснения наблюдаемых изменений периода, оказывается порядка $10^{-6} M_{\odot}$ в год. Эта оценка более чем на порядок превышает теоретическую, полученную из расчетов эволюции тесных двойных систем в "случае В".

Variations of the Period of ST Persei and Y Leonis by M.A.Svechnikov, L.P.Surkova

The period variations of ST Per and Y Leo were investigated. Changes of the periods of these stars occur spontaneously. The new sharp and abrupt change of period and new light elements for ST Per were found. The ejected mass causing the observed variations was estimated to be of the order of $10^{-6} M_{\odot}$ per year. Thus the observed rate of the loss of mass is more than one order greater than the theoretical one obtained from the evolution of the close binary systems in the "case B".

ST Per. Первое указание на переменность ST Per было сделано в 1907 г. Ливитт. С этого времени звезда наблюдалась многими исследователями на протяжении более чем 60 лет. Изменения периода ST Per изучались Вудом (1946) и В.П.Цесевичем (1957). Однако за последние годы получен ряд новых наблюдений моментов минимумов этой системы, и представляет интерес вновь провести подобное исследование.

Сводка моментов минимумов, не приведенных в указанной работе В.П.Цесевича, дана в таблице 1. Уклонения О-С вычислены относительно элементов:

$$\text{Min hel} = \text{J.D. } 2429528.^d5945 + 2.^d6483577 \cdot E$$

Таблица 1

Наблюдаемые моменты минимумов ST Per

Min hel	E	O-C	Вес	Наблюдатель	Лите- ратура
2428042 ^d .676	-259	+0. ^d 006	1	Вуд	1
847.964	-257	-0.003	1	Вуд	1
879.740	-254	-0.007	1	Вуд	1
927.425	-227	+0.008	1	Вуд	1
29525.940	- 1	-0.006	1	Вуд	1
528.586	0	-0.008	1	Вуд	1
549.770	+ 8	-0.011	1	Вуд	1
557.715	11	-0.011	1	Вуд	1
925.840	150	-0.008	1	Вуд	1
973.505	168	-0.014	1	Вуд	1
30055.609	199	-0.009	1	Вуд	1
36549.830	2651	-0.061	2	Ланге	2
37325.281	2944	-0.079	0.5	Леман	3
.283	2944	-0.077	0.5	Квестер	3
.287	2944	-0.073	2	Рудольф	3
39033.454	3589	-0.096	2	Брауне	4
091.712	3611	-0.102	2	Болдуин	5
528.693	3776	-0.100	1	Болдуин	6
40087.499	3987	-0.099	1	Суркова	7
095.441	3990	-0.101	2	Суркова	7

1. F.B.Wood, Princ. Contrib., №21, 1946. — 2. Г.А.Ланге, АЦ №200, 1959. — 3. J.Dueball, P.B.Lehmann, AN 288, №4, 167, 1965. — 4. W.Braune, J.Hübscher, AN 290, №3, 105, 1967. — 5. L.Robinson, IBVS №129, 1966. — 6. L.Robinson, IBVS №247, 1968. — 7. L.P.Surkova, N.B.Skatova, IBVS №394, 1969.

Все указанные в таблице 1 моменты минимумов определены визуально. Нормальные точки ST Per, полученные путем усреднения значений E и O-C для индивидуальных моментов минимумов, а также их средние квадратические ошибки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Нормальные точки O-C ST Per.

E	O-C	Вес	E	O-C	Вес
-4407	+0. ^d 048	1	-517	+0. ^d 0002 ± 0.0015	13
-4107	-0.003 ± 0.0014	15	-272	-0.0015 ± 0.0026	6
-3886	-0.001 ± 0.0015	17	+ 47	-0.0096 ± 0.0009	7
-1900	+0.006 ± 0.0018	3	902	-0.011 ± 0.0020	2
-1521	+0.012	1	1268	-0.022 ± 0.0035	2
- 735	+0.007 ± 0.0023	7	1654	-0.017 ± 0.0016	4

Таблица 2
(продолжение)

E	O-C	Вес	E	O-C	Вес
2216	$-0^d.044$	1	3600	$-0^d.099 \pm 0.0030$	4
2651	-0.061	2	3884	-0.100 ± 0.0005	4
2944	-0.074 ± 0.0018	3			

Графическое изображение уклонений O-C (рис. 1) показывает, что период ST Per меняется, очевидно, скачкообразно. Первый скачок был обнаружен Вудом вблизи $E = -1200$. В.П.Цесевич (1957) получил элементы ST Per для различных эпох:

$$-4407 < E < -1521$$

$$\text{Min hel} = \text{J.D. } 2429528^d.6102 + 2^d.6483621 \cdot E$$

$$-776 < E < +1917$$

$$\text{Min hel} = \text{J.D. } 2429528^d.5897 + 2^d.6483488 \cdot E$$

В интервале $-4407 < E < 1917$ период сократился на $\Delta P = -0^d.0000133$.

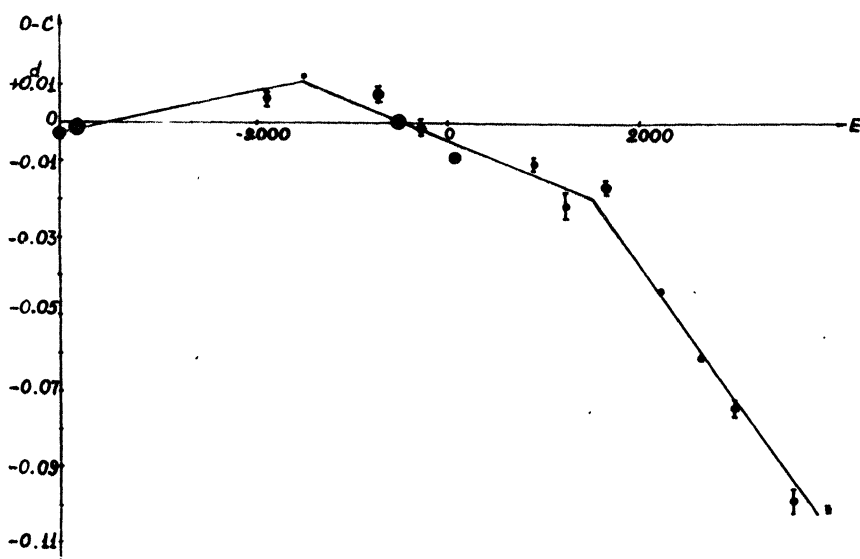


Рис. 1. Диаграмма O-C для ST Per.

Нами обнаружен второй скачок периода вблизи $E = 1600$. Была найдена формула, представляющая наблюдаемые моменты минимумов в интервале $1600 < E < 3990$:

$$\text{Min hel} = \text{J.D. } 2429528^d.6345 + 2^d.6483209 \cdot E$$

Сравнивая с периодом, полученным В.П.Цесевичем для $-776 < E < 1917$, находим, что период ST Per вновь уменьшился на $\Delta P = -0^d.0000279$.

Y Leo. Эта звезда много наблюдалась различными исследователями. Изменение периода впервые было изучено В.П.Цесевичем (1957).

В таблице 3 дана сводка минимумов блеска, не приведенных в указанной работе В.П.Цесевича.

Таблица 3

Наблюдаемые моменты минимумов γ Leo

Min hel	E	O-C	P	Наблюдатель	Литература
1	2	3	4	5	6
2425191.652	1672	+0.009	1	Бейер	1
27857.387	3253	+0.008	1	Ланге	2
862.394	3256	+0.007	1	Ланге	2
35935.3093	8044	-0.0100	1	Ланге	2
36631.704	8457	+0.035	1	Джонсон	3
37368.474	8894	-0.010	1	Рудольф	4
378.589	8900	-0.011	1	Рудольф	4
.592	8900	-0.008	1	Квестер	4
38142.387	9353	-0.006	1	Оберштаттер	5
496.418	9563	-0.051	0.5	Зиду	6
813.407	9751	-0.044	0.5	Лохер	5
39177.646	9987	+0.003	1	Рихер	7
199.567	9980	+0.005	1	Монске	8
231.603	9999	+0.005	1	Монске	8
.605	9999	+0.007	1	Хазель	8
531.727	10177	+0.008	1	Хазель	9
536.789	10180	+0.011	1	Хазель	9
548.590	10187	+0.010	1	Монске	9
558.704	10193	+0.007	2	Болдуин	9
.705	10193	+0.008	1	Хазель	9
580.621	10206	+0.005	1	Монске	9
.624	10206	+0.008	1	Хазель	9
585.683	10209	+0.009	1	Чепмен	9
590.745	10212	+0.013	1	Грегг	9
39914.468	10404	+0.009	1	Лохер	10
968.427	10436	+0.014	1	Петер	11
.422	10436	+0.009	1	Лохер	11
973.482	10439	+0.011	1	Петер	11
995.400	10452	+0.010	1	Петер	11
40273.603	10617	+0.010	1	Лохер	12
290.456	10627	+0.002	1	Дитхельм	12
.465	10627	+0.011	1	Петер	12
.469	10627	+0.015	2	Лохер	12
322.475	10646	+0.014	1	Герман	13
344.423	10659	+0.015	1	Петер	13
.424	10659	+0.016	1	Герман	13
590.584	10805	+0.009	1	Герман	14
654.663	10843	+0.017	2	Лохер	15

Таблица 3
(продолжение)

1	2	3	4	5	6
2440688.382	10863	+0. ^d 015	1	Ройбер	15
.385	10863	+0.018	1	Дитхельм	15
.385	10863	+0.018	1	Лохер	15
715.361	10879	+0.016	2	Лохер	16
720.418	10882	+0.015	2	Лохер	16
.422	10882	+0.019	1	Петер	16

1. B.Beyer, ПЗ 1, №8-9, 1929. — 2. Г.А.Ланге, АЦ №190, 1958. —
 3. H.Johnson, ApJ 131, №1, 1960.
 4. J.Dueball, P.B.Lehmann, AN 288, №4, 167, 1965. — 5. W.Braune,
 J.Hübscher, AN 290, №3, 105, 1967. — 6. O.Oburka, ВАС 16, №4,
 212, 1964. — 7. L.Robinson, IBVS №129, 1966. — 8. L.Robinson,
 IBVS №154, 1966. — 9. L.Robinson, IBVS №221, 1967. — 10. K.Locher,
 Orion 13, №106, 1968. — 11. K.Locher, Orion 13, №107, 1968. —
 12. R.Diethelm, K.Locher, Orion 14, №112, 1969. — 13. K.Locher,
 R.Diethelm, Orion 14, №113, 1969. — 14. R.Diethelm, K.Locher,
 Orion 15, №117, 1970. — 15. R.Diethelm, K.Locher, Orion 15, №118,
 1970. — 16. R.Diethelm, K.Locher, Orion 15, №119, 1970.

Нормальные точки O-C Y Leo с их средними квадратическими
 ошибками приведены в таблице 4.

Таблица 4

Нормальные точки O-C Y Leo

Е	O-C	P	Е	O-C	P
-2537	-0. ^d 059 ± 0. ^d 0033	3	2838	+0. ^d 004 ± 0. ^d 0004	6
-1895	-0.047	1	3064	+0.007 ± 0.0002	7
-1713	-0.039 ± 0.0004	5	3272	+0.006 ± 0.0008	11
-1489	-0.038 ± 0.0000	2	3486	+0.003 ± 0.0011	3
-1261	-0.036	1	3685	+0.005 ± 0.0015	7
-1059	-0.032 ± 0.0004	2	3927	+0.0007 ± 0.0007	9
-812	-0.024	1	5621	-0.008 ± 0.0027	3
-608	-0.018	1	6382	-0.003 ± 0.0019	3
-425	-0.014 ± 0.0010	6	6821	-0.0147 ± 0.0023	3
-193	-0.012 ± 0.0017	4	7749	-0.007 ± 0.0015	3
-6	-0.003 ± 0.0010	9	8898	-0.0097 ± 0.0009	3
+277	+0.004 ± 0.0025	6	9353	-0.006	1
657	+0.009 ± 0.0031	6	9982	+0.005 ± 0.0007	3
886	+0.008 ± 0.0026	8	10196	+0.0088 ± 0.0008	9
1672	+0.009	1	10433	+0.0106 ± 0.0010	5
			10639	+0.0137 ± 0.0020	7
			10868	+0.0166 ± 0.0012	10

Изменения периода системы были определены путем численного дифференцирования кривой $O-C$ (рис. 2а) и приведены на рис. 2б. При этом исследовалась реальность полученных изменений и исключались случаи, когда колебания $O-C$ лежат в пределах ошибок наблюдений.

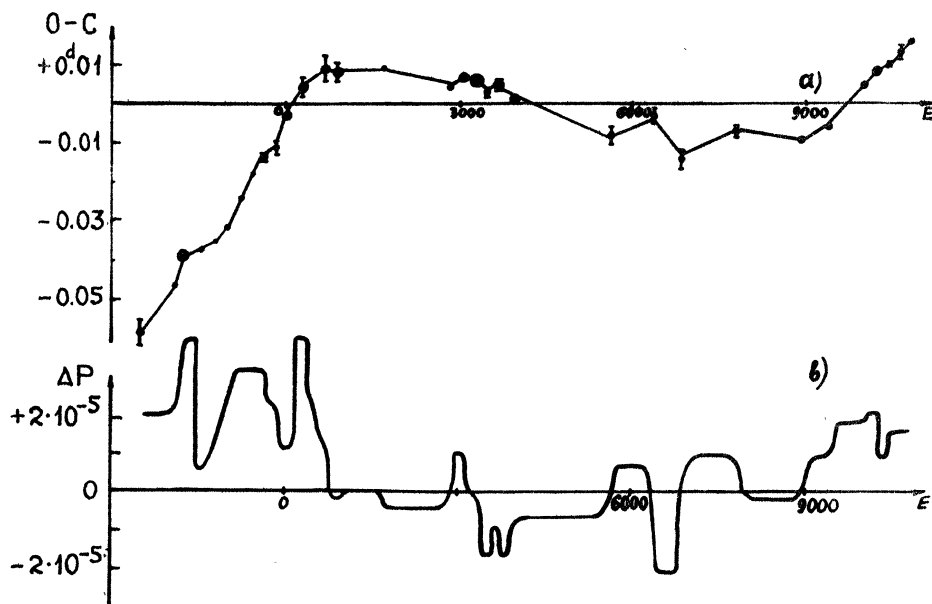


Рис. 2. а) Диаграмма $O-C$ для $Y\ Leo$, б) кривая изменения периода $Y\ Leo$.

Как показывает анализ кривой $O-C$, после $E = 6380$ произошло значительное увеличение периода, и прежние элементы В.П.Цесевича уже не согласуются с наблюдениями. Для получения новых элементов требуются дальнейшие наблюдения этой звезды.

Таким образом, колебания периода $Y\ Leo$ и $ST\ Per$ являются неправильными, скачкообразными. Наиболее правдоподобным объяснением таких изменений является выброс материи из спутника, несимметричный по отношению к линии, соединяющей центры компонентов. При расчетах потери массы, необходимой для объяснения наблюдаемых неправильных изменений периода, при больших скоростях выброса вещества можно пользоваться формулой Хуана (1956).

$$\frac{dP}{P} = \frac{2\delta m_2}{m_1 + m_2} \pm 3 \frac{2\pi a^2 (1-e^2)^{1/2} v \delta m_2}{P G (m_1 + m_2) m_2},$$

где P — период обращения системы, m_1 и m_2 — массы главного компонента и спутника, a — большая полуось относительной орбиты (эти данные взяты из каталога М.А.Свечникова (1969), v — скорость выброса материи (в данной работе принято $v = 200$ км/сек), G — гравитационная постоянная, e — эксцентриситет орбиты.

Полученные таким образом оценки потери массы за время одного скачка периода (ΔM) приведены в таблице 5. Средняя потеря массы Y Leo составляет $0.9 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$ в год.

Таблица 5

Изменение периода и потеря массы Y Leo

E	ΔP	ΔM	E	ΔP	ΔM
-1900	$+2.3 \cdot 10^{-5}$	$2.6 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$	3075	$-1.9 \cdot 10^{-5}$	$3.3 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$
-1700	-3.8	6.5	3250	-1.0	1.7
-1500	+0.6	0.6	3500	+0.6	0.6
-1250	+1.2	1.3	3700	-0.9	1.6
-1050	+1	1.1	3925	+1.2	1.3
- 600	-0.8	1.4	5600	+1.3	1.5
- 425	-2	3.4	6400	-3.2	5.5
- 175	+4.6	5.1	6800	+3.3	3.7
0	-2.6	4.5	7750	-1.0	1.7
275	-1	1.7	8900	+1.1	1.2
675	-1.8	3.1	9350	+0.8	0.9
850	+0.5	0.6	9950	+0.2	0.2
1650	-0.6	1.0	10230	-1.2	2.0
2850	+1.9	2.1	10450	+0.8	0.9
$\overline{\Delta P} = 1.6 \cdot 10^{-5}$		$\overline{\Delta M} = 2.3 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$	$\overline{\Delta P} = 1.6 \cdot 10^{-5}$		$\overline{\Delta M} = 2.3 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$

(здесь $\overline{\Delta P}$ и $\overline{\Delta M}$, соответственно, среднее изменение периода и средняя потеря массы за один скачок).

Выброс массы для ST Per во время первого скачка составил $8.4 \cdot 10^{-7} M_{\odot}$, во время второго — $1.8 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$. Кроме того, как видно из рис. 1, потери массы меньшей величины могли происходить также в промежутки времени между этими скачками.

Наблюдаемую потерю массы для полуразделенных систем можно сравнить с оценками потери массы при теоретических расчетах эволюции тесных двойных систем. Для маломассивных полуразделенных систем, эволюционирующих в "случае В" (что соответствует наблюдаемым системам Y Leo и ST Per) в "медленной" фазе потери массы, величина потери массы должна быть менее 10^{-8} массы Солнца в год согласно Киппенхану, Вайгерту (1967) и Рефсдалю, Вайгерту (1969). Таким образом, полученная из наблюдений скорость потери массы более чем на порядок превышает теоретическую, найденную из расчетов эволюции тесных двойных систем при предположении механизма чистого перетекания.

Литература:

- Вуд, 1946 — Wood F.B., Princ Contr № 21.
Киппенхан, Вайгерт, 1967 — Kippenhahn R., Weigert A., ZsAp 65, 251.

Рефсдаль, Вайгерт, 1969, — Refsdal S., Weigert A., *Astronomy and Astrophysics* **1**, № 2, 1967.

Свечников М. А., 1969, "Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд", Уч. зап. УрГУ №84, сер. астр., вып. 5.

Хуан, 1956, — Huang S.-S., *AJ* **61**, № 2, 48

Цесевич В. И., 1957, ПЗ **11**, № 6, 403.

Уральский гос. университет

*Поступила в редакцию
5 февраля 1971г.*