

Переменные звезды 22, № 2, 237–244, 1985
Variable Stars 22, No 2, 237–244, 1985

Об эффекте Блажко у V421 Геркулеса

В.П.Цесевич, О.Е.Мандель

По данным фотографических и визуальных наблюдений выведены элементы этой звезды типа RR Лиры:

$$\text{Max hel} = \text{JD } 2437172.4281 + 0^d.5567545 \cdot E.$$

Построены средние кривые блеска (табл. 2, рис. 2). Звезда проявляет эффект Блажко, особенно четко выраженный в околорасположенной части кривой блеска. Отношение периодов вторичного и главного колебаний составляет 0.79.

On the Blazhko Effect of V421 Herculis

by V.P. Tsessovich, O.E. Mandel

From photographic and visual observations the elements of this RR Lyrae type star have been specified:

$$\text{Max hel} = \text{JD } 2437172.4281 + 0^d.5567545 \cdot E.$$

Mean light curves have been constructed (Table 2, Fig. 2). The star shows Blazhko effect especially noticeable near maximum of the light curve. The ratio of the secondary period to the primary one is equal to 0.79.

Переменность блеска V421 Her была обнаружена в 1934 г. (Моргенрот, 1934). Первые же регулярные наблюдения, которые были выполнены Цесевичем, указали на принадлежность звезды к типу RR Лиры (Кукаркин и др., 1969). Однако определение периода изменения блеска было затруднено вследствие сильного эффекта Блажко. Переменная наблюдалась в Одесской астрономической обсерватории визуально при помощи 470-мм рефлектора Манделем и фотографически Цесевичем и Манделем по пластинкам Одесской коллекции. Кроме того, по нашей просьбе блеск V421 Her был измерен на снимках коллекции ГАИШ Курочкиным и результаты любезно сообщены нам. Сведения об использовавшихся звездах сравнения даны в таблице 1 и на рис. 1.

Фотографические звездные величины звезд сравнения, столбец m_K , определены Курочкиным. Величины в столбце $m_{\text{Од}}$ получены привязкой по методу наименьших квадратов к шкале Курочкина степенной шкалы $s_{\text{фот}}$, выведенной из наблюдений по снимкам Одесской коллекции. В последнем столбце таблицы 1 представлена степенная шкала, выведенная из визуальных наблюдений. Наблюдения охватывают интервалы времени JD 2436786–2437913 (визуальные), 2436048–2438614

(фотографические, Одесса) и 2437087–2441618 (фотографические, Москва). Результаты их приведены в таблице 4.

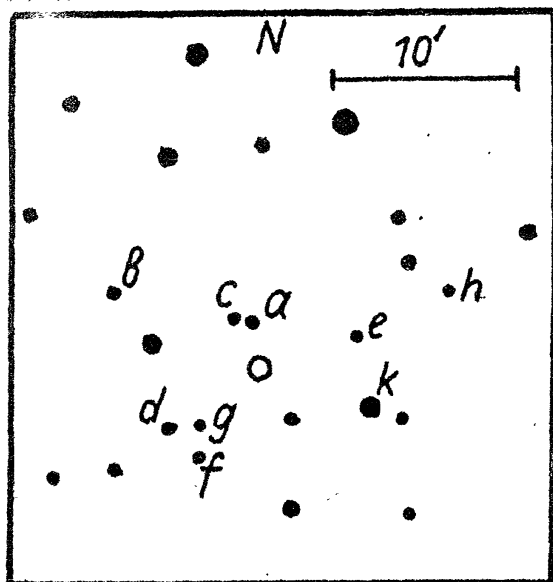


Таблица 1

*	m_K	$m_{Од}$	$s_{фот}$	$s_{виз}$
k	12.98	12.98	1.1	—
a	13.38	13.41	7.4	—8.8
b	—	13.59	10.1	—
c	13.83	13.72	11.9	0.0
d	—	13.92	14.8	—
e	—	14.17	18.4	6.0
f	13.98	14.21	19.1	—
g	14.62	14.47	22.9	10.7
h	—	14.82	27.9	16.9

Рис.1. Карта окрестностей V421 Her.

Для определения периода был использован метод Фурье поиска периодичностей в форме, описанной в статье Безденежного и Манделя (1977). В качестве периода принималось значение P , соответствующее максимуму величины

$$\Delta = \sum_{i=1}^N (m_i - m_0)^2 - \sum_{i=1}^N [(m_i - m_0) - (a \cos \frac{2\pi}{P} t_i + b \sin \frac{2\pi}{P} t_i)]^2,$$

где m_0 — среднее значение блеска из N наблюдений, m_i — блеск в момент наблюдения t_i , N — число наблюдений. Коэффициенты a и b определяются для заданного P методом наименьших квадратов. Вычисления проводились при помощи ЭВМ "Наири" Одесской обсерватории. Для поиска периода использовались визуальные наблюдения, поскольку они обеспечивают довольно плотное покрытие интервала длиной около 1000 дней. Так как принадлежность звезды к классу RR Лиры не вызывала сомнений, период искался в интервале $0^d.20$ – $1^d.83$. Отобранное по максимуму величины Δ значение уточнялось по всем фотографическим наблюдениям, и в результате получено значение периода $P_1 = 0^d.5567545$. При этом $\Delta = 14$,

$a \sum_{i=1}^{143} (m_i - m_0)^2 = 24$, где $m_0 = 14.11$. Сравнительно невысокое значение Δ (обычно при наличии единственного периода Δ составляет около 80% от $\sum_{i=1} (m_i - m_0)^2$) объясняется сильным эффектом Блажко.

При значении периода P_1 по формуле $\phi + E = (JD_{hel} - 2436790.450)/0^d.5567545$ вычислены фазы ϕ и построены средние кривые блеска V421 Her по визуальным и фотографическим наблюдениям. E в формуле, как обычно, означает число эпох. Средние кривые блеска представлены в таблице 2 и на рис. 2. В столбце σ таблицы 2 указаны средние квадратические отклонения табличных значений блеска, полученные путем сравнения индивидуальных значений блеска со значениями, снятыми со средней кривой. Видно, что наиболее сильные изменения кривая блеска претерпевает вблизи максимума, в интервале фаз $-0.1 \leq \phi \leq 0.1$ относительно максимума блеска. Из фотографической кривой блеска находим: $Max = 13^m.34$, $min = 14^m.48$, время подъема блеска $0^P.25$.

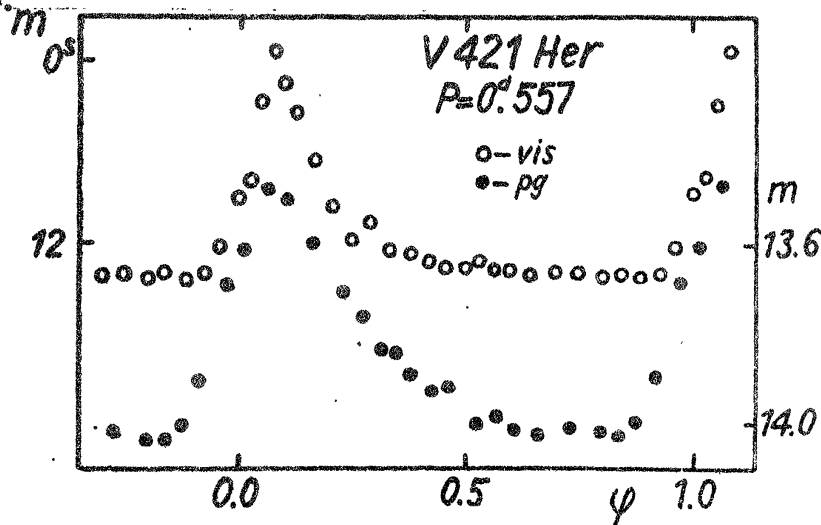


Рис. 3. Средние кривые блеска.

Далее из наблюдаемых значений блеска было произведено вычитание соответствующих средних кривых и к полученным величинам Δm и соответствующим датам была вновь применена процедура поиска периодичности. При этом, поскольку изменения кривой блеска происходят в основном вблизи максимума и визуальные наблюдения обеспечивают более плотное покрытие кривой, для поисков вторичного периода отобраны лишь визуальные наблюдения, попадающие в интервал фаз $0.96 \leq \phi \leq 1.17$, где $\sigma \geq 0^s.9$. Проверены возможные значения периода на интервале от 0.25 до 200^d . Из них наиболее вероятными (по максимуму Δ_1 , определяемой аналогично величине Δ) оказались значения $0^d.4381192$ ($\Delta_1 = 908$) и $2^d.0560365$ ($\Delta_1 = 912$) при $\sum (\Delta m - \bar{\Delta m})^2 = 2393$.

Легко заметить, что периоды $P_1 = 0^d.55676$, $P_2 = 0^d.43812$ и $P_3 = 2^d.0560$ связаны известным соотношением биений. $1/P_3 = 1/P_2 - 1/P_1$. Однако картина биений оказывается довольно сложной, поскольку формы взаимодействующих колебаний не являются синусоидальными. Звездные пульсации, как известно, относятся к нелинейным явлениям, и нет

оснований полагать, что волны в атмосфере звезды будут строго аддитивны в своем проявлении.

По формуле $\psi + E_1 = (JD_{hel} - 2436790.450) / 0.4381192$ вычислены фазы ψ вторичного колебания и для интервалов фаз ϕ длиной 0.1 построены кривые $\Delta m(\psi)$, продемонстрировавшие, как и следовало ожидать, значительную амплитуду для интервалов фаз ϕ 0.930–1.030 и 0.030–0.130 (то-есть в районе максимума блеска) и близкую к нулю для фаз основного колебания (с периодом P_1), соответствующих минимуму блеска. На рис. 3 представлены графики зависимости $\Delta m(\psi)$ для интервалов фаз ϕ 0.030–0.130 (светлые кружки) и 0.530–0.630 (темные кружки). При помощи подобного рода графиков были определены сглаженные значения Δm для моментов времени, соответствующих каждому наблюдению, в значения блеска введены поправки за вторичное колебание и построена кривая блеска для колебания с периодом P_1 во втором приближении. Эта кривая представлена в таблице 3.

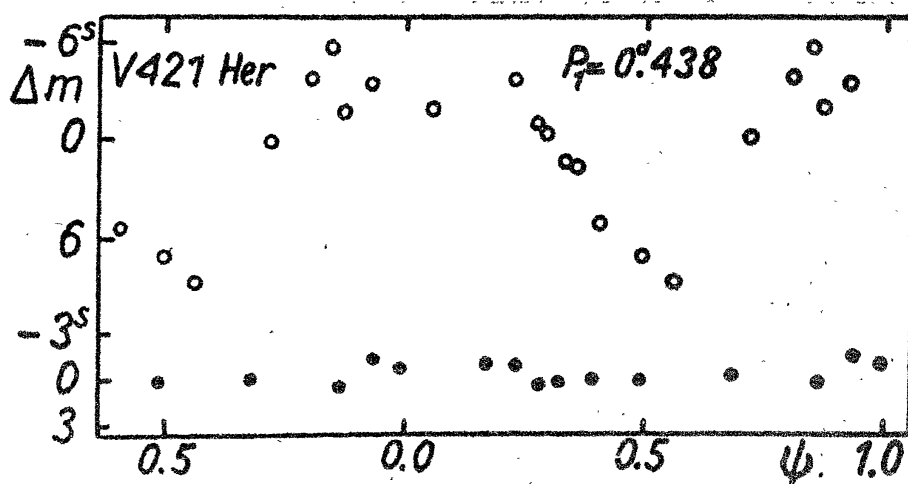


Рис. 3. Графики зависимостей $\Delta m(\psi)$ для интервалов фаз 0.030–0.130 (светлые кружки) и 0.530–0.630 (темные кружки)

И во втором приближении средние квадратические отклонения в области максимума блеска оказываются существенно большими, чем в минимуме. Это свидетельствует о существовании других, возможно также периодических, явлений, накладывающихся на пульсации с периодами P_1 и P_2 . Однако точность наблюдений недостаточна для поиска последующих периодов.

Небезынтересно отметить, что отношение P_2/P_1 для V421 Her, равное 0.79, близко к предсказываемой теорией нелинейных пульсаций величине 0.80, характерной для отношения периодов второго и первого обертонов (С то би, 1969). Таким образом, можно предполагать, что V421 Her пульсирует в первом обертоне, а в области максимума блеска возбуждаются и колебания во втором обертоне.

Пульсации с двойной периодичностью наблюдаются у многих переменных звезд, однако случаи, когда амплитуды колебаний составляют

несколько десятых звездной величины довольно редки и встречаются чаще всего у звезд типа RR Лиры (эффект Блажко), но период вторичного колебания при этом в несколько десятков раз больше основного. Известны лишь несколько карликовых цефеид, классических цефеид и всего одна звезда типа RR Лиры — AC Андромеды — где наблюдается двойственная периодичность с близкими периодами и заметными амплитудами (Кукаркин и др., 1969). В связи с этим обнаружение подобного явления у V421 Her представляет интерес и заслуживает дальнейшего исследования.

Таблица 2

а. Средняя визуальная кривая блеска V421 Her

Фаза	Блеск	n	σ	Фаза	Блеск	n	σ	Фаза	Блеск	n	σ
0 ^h .029	7 ^m .9	15	1.2	0 ^h .333	12 ^m .5	15	0.4	0 ^h .698	14 ^m .1	15	0.3
.052	3.0	16	1.4	.380	12.9	15	0.2	.749	14.1	15	0.4
.079	-0.5	15	1.3	.417	13.3	15	0.3	.800	14.4	15	0.4
.101	1.6	15	1.3	.459	13.7	15	0.3	.842	14.0	15	0.3
.132	3.5	15	1.1	.501	13.8	15	0.2	.884	14.5	15	0.4
.169	6.7	15	0.9	.527	13.1	15	0.3	.924	14.2	15	0.4
.206	9.7	15	0.8	.562	13.8	16	0.3	.957	12.2	15	0.9
.249	11.9	15	0.5	.597	13.8	16	0.3	.999	8.9	15	1.5
.288	10.8	15	0.5	.645	14.0	15	0.3				

Норм. Max = JD hel. 2437172.4281

Средняя фотографическая кривая блеска

Фаза	Блеск	n	σ	Фаза	Блеск	n	σ	Фаза	Блеск	n	σ
0 ^h .013	13 ^m .63	7	0 ^m .16	0 ^h .344	14 ^m .10	7	0 ^m .08	0 ^h .652	14 ^m .47	7	0 ^m .04
.062	13.36	6	.09	.373	14.20	7	.06	.726	14.43	7	.06
.106	13.42	7	.11	.417	14.27	7	.06	.793	14.46	6	.06
.160	13.62	6	.12	.462	14.24	7	.05	.828	14.48	6	.06
.227	13.83	7	.11	.518	14.41	7	.04	.868	14.41	7	.07
.271	13.94	7	.11	.558	14.38	7	.05	.907	14.22	7	.10
.312	14.09	7	.10	.601	14.45	7	.05	.968	13.80	7	.11

Норм. Max = JD hel. 2437849.4371

Таблица 3

Средняя визуальная кривая блеска V421 Her во втором приближении (соответствующие ϕ и n см. в таблице 2а)

Блеск	σ	Блеск	σ	Блеск	σ	Блеск	σ
6 ^m .7	0 ^m .9	11 ^m .9	0 ^m .5	13 ^m .3	0 ^m .3	14 ^m .0	0 ^m .3
3.1	.9	11.0	.4	14.0	.3	14.4	.3
0.3	.8	12.4	.3	14.0	.3	13.5	.4
1.7	.8	13.1	.2	13.9	.3	12.9	.3
3.2	.7	13.2	.3	14.0	.2	9.8	.6
7.1	.9	13.7	.3	14.3	.4		
9.6	.5	13.9	.2	14.6	.4		

Таблица 4

Наблюдения V421 Her по одесским снимкам (Цесевич, Мандель).

JD ₀ 24...	m	JD ₀ 24...	m	JD ₀ 24...	m	JD ₀ 24...	m
36048.365	13.41	36434.301	13.57	37073.474	14.35	37488.384	14.20
049.369	13.94	463.256	14.10	075.499	13.42	494.340	14.06
050.372	14.41	667.579	14.05	077.420	14.32	496.348	14.47
051.385	14.27	726.450	13.19	.488	14.33	497.351	14.36
053.352	13.61	748.425	14.43	078.409	13.73	498.347	14.35
072.327	13.93	749.438	14.12	079.388	13.45	790.424	13.24
080.282	14.29	755.450	13.64	.438	13.60	.474	13.34
339.505	13.21	756.371	14.50	080.422	14.28	.520	13.67
344.497	13.57	.430	14.41	087.486	14.36	793.499	14.47
345.467	14.20	757.389	14.45	101.422	14.32	813.410	14.20
347.466	14.19	.415	14.61	102.429	14.01	.456	14.27
350.501	14.34	.442	14.49	105.481	14.39	814.464	13.81
351.512	14.29	758.417	14.23	.505	14.40	.488	14.20
352.502	14.34	.444	14.43	107.394	13.75	818.417	14.20
371.429	14.08	761.418	14.52	140.364	14.17	824.486	14.05
372.420	13.35	778.417	14.03	142.348	13.58	844.444	13.04
373.429	14.13	779.377	13.18	169.330	14.21	847.415	13.97
376.433	14.07	780.350	14.30	170.307	13.69	849.439	13.03
379.452	14.22	781.359	14.36	172.303	14.37	851.392	14.27
392.393	13.40	789.342	13.23	173.302	14.47	853.421	13.49
393.425	14.22	790.391	14.36	457.446	14.14	884.415	14.20
395.418	14.39	791.379	14.34	462.445	14.26	88609.336	13.75
423.355	14.39	805.302	14.33	464.448	14.45	614.347	13.68
424.344	14.17	814.299	14.44	484.353	13.68		

Наблюдения по московским снимкам (Курочкин).

JD ₀ 24...	m	JD ₀ 24...	m	JD ₀ 24...	m	JD ₀ 24...	m
37087.475	14.36	40809.339	14.50	41533.337	14.62	41571.292	13.90
102.468	14.04	.460	14.64	.483	13.30	573.284	14.45
115.379	14.58	810.405	14.17	545.430	14.56	577.356	14.10
118.345	14.60	827.372	14.56	548.388	14.62	594.216	13.47
38675.225	14.08	829.377	14.37	561.339	13.84	595.226	14.30
.265	14.43	831.319	13.80	564.275	14.17	596.214	14.62
907.407	14.36	832.374	14.56	565.285	14.10	597.212	14.52
40361.509	13.45	834.312	13.53	566.282	13.60	.248	14.60
803.413	14.62	838.368	14.58	567.287	14.50	598.208	14.02
807.363	14.70	840.417	14.36	568.271	14.50	.251	14.18
.517	13.60	41062.573	14.40	569.275	14.42	604.264	13.66
808.428	14.66	515.407	14.50	570.276	14.04	616.234	14.36

Визуальные наблюдения (Мандель).

JD ₀ 24...	s	JD ₀ 24...	s	JD ₀ 24...	s	JD ₀ 24...	s
36786.431	11.0	36790.419	9.5	36791.450	14.0	36807.308	14.0
.466	12.0	.427	4.3	792.408	13.0	.365	14.0
.481	13.0	.433	4.6	.425	14.0	809.281	12.3
787.446	12.0	.441	3.4	.443	14.0	.308	16.3
789.357	6.8	.447	1.7	.475	14.0	.376	8.3
.395	8.4	.452	2.2	793.469	14.0	.389	10.3
.420	6.0	.458	2.2	.490	14.0	.398	7.8
.442	8.9	.467	3.0	.508	14.0	.408	5.0
.465	12.7	.475	3.4	.518	13.0	.414	3.7
.484	14.7	.493	3.7	795.460	12.0	.423	4.3
790.323	15.7	791.362	12.5	.492	13.0	.435	5.1
.341	16.7	.375	12.0	.513	13.0	.444	4.5
.358	14.7	.390	12.0	805.347	12.0	.462	6.0
.378	12.0	.405	13.0	806.319	13.0	.476	8.0
.392	13.0	.421	12.5	.352	14.0	813.350	2.6
.406	12.0	.435	12.0	807.277	10.0	.364	6.0

JD _⊙ 24...	s	JD _⊙ 24...	s	JD _⊙ 24...	s	JD _⊙ 24...	s
36813.402	8.0	36867.226	13.9	37101.411	11.0	37175.459	14.2
814.281	12.0	.252	13.9	.439	13.9	176.390	6.0
.297	13.0	.282	12.9	102.399	6.0	.401	11.0
.313	13.0	.304	12.5	.428	8.7	221.311	14.9
.331	13.0	.328	11.0	.451	12.5	228.253	13.6
.353	14.0	.353	11.9	104.362	12.5	.268	13.9
.378	13.0	868.212	15.8	.469	11.9	493.363	10.0
.408	10.0	.251	14.9	130.377	15.7	533.462	13.0
.425	8.5	.285	15.8	134.414	14.9	.473	12.0
.453	5.1	.310	14.7	.430	14.7	.479	12.0
815.355	12.0	.332	13.9	.472	13.9	.490	13.0
.390	13.0	.357	15.5	.488	12.9	.500	12.0
.418	14.0	869.210	13.9	.492	11.9	.513	13.0
.442	14.0	.231	13.9	.496	11.5	881.356	15.7
.472	14.0	.270	13.3	135.359	14.9	.370	14.9
816.340	14.0	.299	12.9	.381	13.3	.402	14.7
.378	13.0	.329	13.3	.412	14.9	.444	13.9
.404	13.0	.358	14.7	.461	13.3	.460	12.5
.429	13.0	997.527	16.9	136.346	12.9	.469	13.9
.448	14.0	.544	14.9	.403	12.9	882.355	12.5
.459	14.0	.565	13.3	.438	13.9	.376	13.3
.470	14.0	.596	-4.4	137.445	13.3	.392	12.9
817.281	12.0	.606	-7.7	.484	13.3	.424	13.6
.290	11.5	.608	-7.7	139.340	15.9	.450	11.5
.307	6.0	.612	-5.9	.393	13.9	.460	12.5
.318	10.8	.615	-4.9	.415	15.1	.471	11.9
.336	11.5	.619	-5.9	.462	13.3	.487	12.9
.373	12.5	37002.593	-3.8	.489	12.4	886.428	14.7
.415	13.3	.621	-3.3	.499	12.9	.475	14.9
.445	12.9	015.473	0.0	140.345	12.9	.486	14.9
.463	13.3	.532	8.8	.380	13.3	887.443	13.9
.473	12.9	016.444	15.0	141.394	13.9	.462	12.9
.482	13.0	.498	-2.2	144.393	14.2	.472	13.6
819.326	14.7	.516	-4.4	.410	13.3	.482	13.6
822.361	11.5	.530	-2.2	.447	13.3	.487	12.9
.405	12.5	.559	-2.0	.473	12.4	900.324	14.2
823.430	9.6	.592	1.0	.509	12.4	.340	14.2
.449	10.8	019.438	11.5	145.413	13.3	.35	14.7
.470	11.0	.468	12.5	.433	14.2	.367	13.9
837.238	3.0	.513	13.0	.452	14.9	.390	14.9
.269	3.0	.580	13.9	.471	14.9	.405	13.9
.295	5.0	020.440	-2.7	.497	14.9	901.343	11.0
838.265	15.9	.463	0.0	169.321	15.1	.348	12.5
.276	16.9	.504	10.0	.368	14.9	.36	12.9
.302	15.8	.533	12.5	.419	16.0	.384	12.9
.321	14.5	.558	13.0	.441	16.0	.403	13.3
.334	12.5	023.395	11.0	170.311	11.5	.432	12.9
.350	10.8	.416	11.0	.328	11.5	.438	12.4
.370	6.0	.451	12.4	.357	12.4	.452	13.3
.398	11.5	.500	13.9	.393	12.9	902.347	1.2
.428	10.0	.570	12.9	.455	13.9	.357	-3.0
840.245	15.8	025.488	12.5	.491	14.7	.367	-1.1
.260	14.9	.529	13.0	172.372	14.9	.384	4.5
.278	14.7	.549	12.9	.394	12.5	.395	8.0
.318	14.9	.569	12.9	.409	0.0	.407	9.0
849.318	16.9	028.492	12.5	.418	-3.3	.420	10.0
.341	13.9	.520	12.9	.426	-1.5	.437	11.0
.371	16.9	.561	14.0	.436	0.0	903.330	16.9
862.218	12.9	029.508	12.0	.444	2.4	.353	15.9
.239	13.3	.564	13.0	.449	3.6	.360	16.9
863.197	15.8	.585	13.6	.457	4.5	.387	14.2
.239	15.8	030.571	12.9	.472	6.0	.404	13.3
.270	14.9	087.480	13.3	.486	8.7	.416	12.9
866.262	12.5	.484	13.3	174.375	16.0	.425	7.4
.283	12.5	.496	13.6	175.384	14.2	.430	6.0
.302	12.9	088.506	14.9	.415	13.9	.436	2.0
.316	12.9			.427	13.3	.443	0.0
867.202	14.7						

JD ₀ 24...	s	JD ₀ 24...	s	JD ₀ 24...	s	JD ₀ 24...	s
37904.317	13.9	37907.368	3.0	37909.388	15.9	37912.412	7.8
.332	14.2	.373	4.0	.408	15.9	913.322	15.1
.348	13.6	.384	6.0	910.301	13.9	.364	15.8
.378	14.2	.394	6.0	.320	14.2	.378	13.9
.399	14.2	.405	8.0	.335	14.2	.392	13.9
.418	14.2	.422	9.0	.371	13.3	.407	13.3
906.342	8.2	.427	9.0	.395	14.9	.424	12.4
.344	9.0	908.301	15.1	.423	13.9	.433	11.9
.359	11.0	.311	15.1	912.325	9.0	.437	10.8
.381	11.0	.330	14.9	.341	-0.9	.439	9.0
.397	11.9	.351	14.9	.357	-1.8	.444	4.0
.413	12.9	.377	14.9	.361	-2.4	.449	0.0
.424	13.3	.399	14.9	.391	0.0	.454	-1.0
907.340	-3.0	909.344	15.9	.400	4.0	.467	0.0
.354	-2.5	.370	14.9	.407	7.0	.473	0.0
.359	-1.1						

Литература

Безденежный В.П., Мандель О.Е., 1977, ПЗ, Приложение 3, 227.
 Кукаркин Б.В., Холопов П.Н., Ефремов Ю.Н., Кукаркина Н.Н.,
 Курочкин Н.Е., Медведева Г.И., Перова Н.Б., Федо-
 рович В.П., Фролов М.С., 1969, Общий каталог перемен-
 ных звезд, Москва.
 Моргенрот, 1934 — Morgenroth O., AN 252, 391.
 Стоби, 1969 — Stobie R.S., MN 144, 511.

Одесская астрономическая
 обсерватория
 Одесский политехнический
 институт

*Поступила в редакцию
 12 сентября 1984 г.*