

УДК: 524.38-32

АПСИДАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ В РАЗДЕЛЕННЫХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДАХ: СРАВНЕНИЕ ТЕОРИИ И НАБЛЮДЕНИЙ

А.В.ПЕТРОВА, В.В.ОРЛОВ

Поступила 25 марта 2002

Принята к печати 15 апреля 2002

Рассмотрен список 62 разделенных двойных звезд с надежными данными о вращении линии апсид. Получены теоретические оценки скорости апсидального движения. Эти оценки сравниваются с данными наблюдений. Показано, что случаев, когда теоретическая оценка превосходит наблюдаемую величину, в несколько раз больше, чем случаев, когда теоретические величины меньше наблюдаемых. Это расхождение усиливается при рассмотрении систем с более надежными данными наблюдений.

1. *Введение.* Апсидальное движение в тесных двойных звездах используется для проверки моделей строения звезд уже более 70 лет, начиная с работы [1]. Имеется значительное число работ, посвященных наблюдениям апсидального движения в двойных звездах. Недавно нами [2] был составлен каталог 128 двойных звезд, для которых в литературе имеются данные о скорости апсидального движения. В настоящей работе проводится сравнение теоретических и наблюдаемых скоростей апсидального движения для систем из [2] с уверенными определениями апсидального периода и эксцентриситета. Рассматриваются только разделенные системы, для которых в литературе имеются надежные вычисления постоянных апсидального движения.

2. *Исходные данные.* Апсидальное движение в тесной двойной системе может быть вызвано следующими причинами:

- 1) взаимной приливной деформацией компонентов;
- 2) деформацией компонентов за счет осевого вращения;
- 3) релятивистскими эффектами.

Для определения релятивистской составляющей апсидального движения требуется знание масс компонентов, периода и эксцентриситета орбиты. Эти данные собраны в [2].

Для оценки вклада приливного взаимодействия в апсидальное движение (см., например, [3]) необходимо также знать радиусы компонентов (они приводятся в [2]) и так называемые постоянные апсидального движения k_2 . Эти величины зависят от внутреннего строения каждого из компонентов

и определяются из расчетов звездной эволюции. В настоящей работе использованы расчеты величин k_2 из работ [4,5].

Для оценки вклада вращательной деформации звезд в движение линии апсид (см., например, [6]) требуются также данные об их осевом вращении: скорости вращения и ориентация осей. Эти данные имеются далеко не для всех систем. Поэтому обычно используется следующий подход: оси вращения считаются ортогональными плоскости орбиты, а осевое вращение - синхронизованным с орбитальным движением в перицентре. Эти предположения представляются достаточно обоснованными, поскольку именно к такому состоянию должно приводить приливное взаимодействие компонентов. Мы будем сравнивать теоретические и наблюдаемые скорости апсидального движения в рамках этих допущений об осевом вращении компонентов.

Таким образом, для определения теоретического значения скорости апсидального движения требуется знание масс и радиусов компонентов, периода и эксцентриситета орбиты, а также необходимы оценки постоянных апсидального движения, полученные по эволюционным расчетам для каждого компонента. Для рассматриваемых систем все данные, кроме величин k_2 , приведены в [2]. Для шести систем постоянные апсидального движения, найденные из эволюционных расчетов с использованием данных из каталога [2], не давали требуемого согласия (в пределах 10%) наблюдаемых и расчетных значений радиусов компонентов. В то же время в литературе имеются данные, которые обеспечивают требуемое согласие. Поэтому для этих систем при оценках величин k_2 из расчетов звездной эволюции были взяты альтернативные значения масс M_i и радиусов R_i компонентов. Эти данные, а также ссылки на соответствующие работы приведены в табл.1.

Таблица 1

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТОВ

N	Название	M_1 M_2	R_1 R_2	Литература
8	HP Aur	1.10 0.99	1.2 1.08	[7]
20	AR Cas	7.8 2.1	5.55 1.7	[8]
32	EK Cep	2.03 1.58		[9]
34	NY Cep	12 10	6.1 4.9	[10]
41	V380 Cyg	13.3 7.6	15.1 4.4	[8]
50	V1765 Cyg	26.9 13.5	21.2 5.9	[11]

Кроме самих величин необходимо знать их ошибки, чтобы оценить погрешности конечных результатов. Оценки ошибок исходных величин брались из оригинальных работ, использованных при составлении каталога [2]. Если авторы оригинальных работ не приводят сведений об ошибках, то принимались некоторые характерные величины ошибок. Так, для масс и радиусов компонентов относительные ошибки составляют в среднем примерно 10%. Именно такие величины и использовались в настоящей работе. Ошибки эксцентриситета и орбитального периода брались равными нулю, поскольку эти величины, как правило, определяются значительно увереннее, чем массы и радиусы звезд. Оценить ошибки постоянных апсидального движения, полученных из расчетов звездной эволюции, весьма затруднительно. Особенно трудно учесть вклад ошибки определения возраста компонентов. Нам удалось оценить только вклад ошибок масс звезд в ошибки величин k_2 согласно результатам [12]. Поэтому погрешности величин k_2 могут быть несколько занижены, что, в свою очередь, может приводить к некоторому занижению ошибок теоретических оценок скоростей апсидального движения.

3. *Сравнение наблюдений и теории.* В этом разделе проводится сравнение наблюдаемых и теоретических скоростей апсидального движения для 62 разделенных систем с уверенными определениями апсидального периода и эксцентриситета (см. примечания в [2]). Мы рассматриваем только разделенные системы, поскольку для таких систем в литературе имеются надежные расчеты постоянных апсидального движения.

Таблица 2

СКОРОСТИ АПСИДАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

N	Название	$\log k_2$	$\left(\frac{P}{U}\right)_{obs}$	$\left(\frac{P}{U}\right)_{th}$	$\left(\frac{P}{U}\right)_{tid}$	$\left(\frac{P}{U}\right)_{rel}$	$\left(\frac{P}{U}\right)_{rel}$	Множитель, Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	BWAqr	-2.340 -2.354	2.486 .302	2.155 .025	1.022 .023	0.248 .006	0.885 .008	$\times 10^{-6}$ 1.1
3'	V889 Aql	-2.392 -2.384	1.312 .198	1.208 .071	0.165 .027	0.066 .011	0.977 .065	$\times 10^{-6}$ 0.5
5'	V539 Ara	-2.269 -2.209	5.784 .578	6.260 .054	5.044 .053	0.857 .009	0.359 .003	$\times 10^{-5}$ -0.8
8	HP Aur	-1.930 -1.660	1.007 .174	4.975 .507	4.144 .501	0.636 .079	0.194 0.13	$\times 10^{-5}$ -7.4
11'	AS Cam	-2.347 -2.339	0.391 .139	1.042 .032	0.653 .030	0.168 .008	0.221 .004	$\times 10^{-5}$ -4.6
13'	EM Car	-2.172 -2.128	2.226 .318	3.109 .037	2.653 .037	0.373 .005	0.084 .001	$\times 10^{-4}$ -2.8

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14'	GL Car	-1.907 -1.909	2.629 .003	2.470 .249	1.958 .243	0.437 .054	0.076 .005	$\times 10^{-4}$ 0.6
16'	QX Car	-2.062 -2.055	3.396 .056	3.515 .042	2.352 .040	0.752 .013	0.410 .004	$\times 10^{-5}$ -1.7
20	AR Cas	-2.331 -2.321	1.801 .180	1.134 .089	0.568 .074	0.346 .046	0.219 .015	$\times 10^{-5}$ 3.3
22'	OX Cas	-2.221 -2.182	1.712 .086	2.264 .354	1.902 .350	0.298 .055	0.063 .004	$\times 10^{-4}$ -1.5
23'	PV Cas	-2.394 -2.398	5.097 .108	6.055 .201	4.976 .199	0.752 .030	0.328 .005	$\times 10^{-5}$ -4.2
25	KT Cen	-2.343 -2.313	4.349 .334	3.376 .322	2.409 .309	0.674 .087	0.293 .020	$\times 10^{-5}$ 2.1
26	V346 Cen	-2.339 -2.111	5.392 .269	5.806 .434	3.946 .405	1.502 .151	0.358 .028	$\times 10^{-5}$ -0.8
30'	CW Cep	-2.047 -2.034	1.640 .014	1.878 .018	1.578 .018	0.237 .003	0.062 .000	$\times 10^{-4}$ -10.4
32'	EK Cep	-2.222 -2.305	2.957 .865	2.596 .239	0.867 .191	0.182 .046	1.547 .138	$\times 10^{-6}$ 0.4
34	NY Cep	-2.176 -2.095	3.217 1.980	0.663 .041	0.277 .034	0.135 .016	0.251 .017	$\times 10^{-5}$ 1.3
35'	α CRB	-2.524 -1.497	1.033 .180	0.748 .007	0.087 .002	0.058 .001	0.603 .007	$\times 10^{-6}$ 1.6
37'	Y Cyg	-1.968 -1.966	1.723 .007	1.738 .050	1.356 .049	0.302 .011	0.079 .001	$\times 10^{-4}$ -0.3
41	V380 Cyg	-2.768 -2.116	2.439 .056	4.472 .103	3.125 .097	1.133 .035	0.214 .004	$\times 10^{-5}$ -17.3
42	V453 Cyg	-2.382 -2.133	1.506 .064	1.274 .082	1.056 .081	0.166 .013	0.052 .002	$\times 10^{-4}$ 2.2
43	V477 Cyg	-2.370 -2.214	1.836 .052	1.628 .108	1.055 .101	0.370 .035	0.203 .009	$\times 10^{-5}$ 1.7
44'	V478 Cyg	-2.146 -2.137	2.999 .308	3.774 .180	3.233 .178	0.464 .026	0.077 .003	$\times 10^{-4}$ -2.2
45'	V541 Cyg	-2.298 -2.304	1.050 .158	1.120 .066	0.110 .016	0.051 .007	0.959 .064	$\times 10^{-6}$ -0.4
46'	V1143 Cyg	-2.329 -2.263	1.955 .110	2.360 .020	0.846 .017	0.438 .009	1.077 .008	$\times 10^{-6}$ -3.6
50	V1765 Cyg HR7551	-2.952 -2.032	1.897 .148	3.463 .331	2.068 .294	1.045 .150	0.351 .023	$\times 10^{-5}$ -4.3
51	57 Cyg	-2.227 -2.212	3.851 .076	4.584 .500	3.450 .488	0.768 .108	0.366 .024	$\times 10^{-5}$ -1.4
55	DI Her	-2.129 -2.149	0.618 .056	3.185 .042	0.884 .031	0.428 .015	1.873 .024	$\times 10^{-6}$ -36.7
56	HS Her	-2.151 -2.380	4.872 .741	6.939 .667	5.274 .647	1.294 .159	0.372 .026	$\times 10^{-5}$ -2.1

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
58	AI Hya	-2.709 -2.617	1.830 3.100	4.561 .073	2.758 .069	0.800 .020	1.003 .012	$\times 10^{-4}$ -0.9
61*	CO Lac	-2.379 -2.350	0.974 .001	1.000 .137	0.837 .135	0.126 .021	0.037 .002	$\times 10^{-4}$ -0.2
63	MZ Lac	-2.443 -2.443	1.517 .452	4.829 .557	3.120 .505	1.452 .235	0.257 .017	$\times 10^{-5}$ -4.6
66*	GG Lup	-2.147 -2.274	5.015 .199	4.649 .050	3.390 .049	0.897 .013	0.362 .002	$\times 10^{-5}$ 1.8
68	RU Mon	-2.274 -2.277	2.821 .122	2.481 .235	1.571 .218	0.635 .088	0.276 .018	$\times 10^{-5}$ 1.3
70	BM Mon	-2.123 -2.218	0.020 .004	2.484 .130	1.710 .114	0.766 .062	0.008 .000	$\times 10^{-3}$ -18.9
72	GM Nor	-2.548 -2.470	5.734 .956	6.917 .696	5.698 .686	0.969 .116	0.250 .017	$\times 10^{-5}$ -1.0
74	U Oph	-2.297 -2.255	2.166 .031	1.925 .056	1.651 .055	0.226 .008	0.049 .001	$\times 10^{-4}$ 3.8
75	V451 Oph	-2.423 -2.390	3.342 .557	3.854 .082	3.131 .081	0.457 .012	0.266 .004	$\times 10^{-5}$ -0.9
76	δ Ori	-2.811 -2.015	0.692 .113	6.216 .209	5.214 .199	0.954 .065	0.048 .003	$\times 10^{-4}$ -23.3
78	ι Ori	-2.647 -2.065	3.324 .249	7.913 .721	4.030 .561	3.278 .451	0.604 .040	$\times 10^{-5}$ -6.0
81*	FT Ori	-2.415 -2.396	1.793 .071	1.561 .286	0.933 .263	0.389 .110	0.239 .016	$\times 10^{-5}$ 0.8
85*	AG Per	-2.095 -2.113	7.348 .058	7.981 .237	6.402 .233	1.131 .041	0.448 .009	$\times 10^{-5}$ -2.6
86*	IQ Per	-2.271 -2.371	4.013 .304	4.626 .057	3.481 .056	0.828 .013	0.317 .002	$\times 10^{-5}$ -2.0
88	ζ Phe	-2.264 -2.302	1.034 .152	0.926 .010	0.763 .010	0.126 .002	0.037 .000	$\times 10^{-4}$ 0.7
90	KX Pup	-2.386 -2.389	3.458 .610	3.268 .254	2.407 .246	0.614 .061	0.246 .016	$\times 10^{-5}$ 0.3
91*	NO Pup	-2.264 -2.313	0.925 .005	2.537 .037	2.097 .036	0.405 .009	0.035 .001	$\times 10^{-4}$ -43.2
92*	VV Pyx	-2.435 -2.435	3.932 1.229	4.306 .020	2.413 .018	0.457 .003	1.436 .008	$\times 10^{-6}$ -0.3
95*	YY Sgr	-2.413 -2.385	2.424 .033	1.921 .432	1.335 .420	0.310 .098	0.276 .018	$\times 10^{-5}$ 1.2
96	V523 Sgr	-2.403 -2.391	3.134 .018	6.414 .362	5.046 .352	1.189 .082	0.179 .012	$\times 10^{-5}$ -9.1
97*	V526 Sgr	-2.462 -2.419	3.368 .006	2.817 .619	1.981 .594	0.566 .175	0.270 .018	$\times 10^{-5}$ 0.9
98*	V1647 Sgr	-2.347 -2.361	1.517 .017	1.557 .024	0.942 .022	0.402 .009	0.214 .003	$\times 10^{-5}$ -1.4

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
99	V2283 Sgr HV7498	-2.446 -2.414	1.697 .170	1.493 .304	0.850 .268	0.421 .143	0.222 .015	$\times 10^{-5}$ 0.6
100	β Sco	-2.141 -1.986	2.543 .028	2.797 .576	1.682 .535	0.636 .201	0.478 .068	$\times 10^{-5}$ -0.4
103*	V760 Sco	-2.162 -2.164	1.185 .089	1.288 .025	1.079 .025	0.161 .004	0.047 .001	$\times 10^{-4}$ -1.1
110	55 Uma	-2.395 -2.395	0.016 .002	1.054 .003	0.774 .002	0.277 .001	0.002 .000	$\times 10^{-3}$ -288
111	AO Vel	-2.172 -2.206	7.640 .256	8.744 3.477	7.026 3.420	1.270 .623	0.448 .081	$\times 10^{-5}$ -0.3
112	EO Vel	-2.482 -2.482	0.912 .228	1.015 .093	0.661 .089	0.176 .024	0.179 .012	$\times 10^{-5}$ -0.4
114	α Vir	-2.390 -2.115	0.859 .080	1.111 .096	0.842 .093	0.227 .025	0.042 .002	$\times 10^{-4}$ -2.0
115	DR Vul	-1.925 -1.929	1.686 .030	2.237 .270	1.811 .266	0.349 .051	0.077 .005	$\times 10^{-4}$ -2.0
121	HR8384 HD208947	-2.352 -2.304	8.709 1.390	5.241 .631	3.760 .602	1.156 .189	0.325 .022	$\times 10^{-5}$ 2.3
122	HR8584 HD213534	-2.344 -1.746 -2.609 -1.803	2.465 .246 2.465 .246	0.842 .079 9.376 1.046	0.578 .077 7.703 1.027	0.089 .012 1.497 .200	0.176 .012 0.176 .012	$\times 10^{-5}$ 6.3 $\times 10^{-5}$ -6.4
123	HR8800 HD218407	-2.146 -2.208	6.391 .760	4.297 .371	2.771 .339	1.165 .149	0.360 .024	$\times 10^{-5}$ 2.5
124	HV2274	-2.497 -2.497	1.275 .128	0.865 .131	0.685 .128	0.144 .027	0.036 .002	$\times 10^{-4}$ 2.2

Скорости апсидального движения для этих систем представлены в табл.2. В ней приведены номер системы по каталогу [2]; название системы; теоретические значения постоянных апсидального движения $\log k_2$ для обоих компонентов; наблюдаемая $(P/U)_{obs}$ и теоретическая $(P/U)_{th}$ относительные скорости апсидального движения с ошибками (здесь P - орбитальный период, U - период апсидального движения); вклады приливной $(P/U)_{tid}$ и вращательной $(P/U)_{rot}$ деформации компонентов, а также эффектов ОТО $(P/U)_{rel}$ в относительную скорость апсидального движения. Все эти величины P/U следует домножать на коэффициенты, приведенные в последнем столбце таблицы. В последнем столбце также приведены величины

$$\Delta = \left[\left(\frac{P}{U} \right)_{obs} - \left(\frac{P}{U} \right)_{th} \right] / \sqrt{\sigma_{obs}^2 + \sigma_{th}^2},$$

где σ_{obs} и σ_{th} - ошибки наблюдаемой и теоретической величин скоростей апсидального движения. Эти ошибки оценивались методом распространения

средних ошибок по ошибкам данных наблюдений и расчетов звездной эволюции.

Величина Δ характеризует уровень согласия между значениями наблюдаемой и теоретической скоростей апсидального движения. Если значение $|\Delta| \leq 1$, то мы говорим, что имеется согласие между этими скоростями в пределах ошибки. Знак Δ показывает, какая скорость больше: если $\Delta > 0$, то наблюдаемая скорость апсидального движения превосходит определяемую теоретически; если $\Delta < 0$, то теоретическая скорость больше.

Из 62 систем для 20 имеется согласие в пределах ошибок ($|\Delta| \leq 1$), для 28 систем теоретические значения превосходят наблюдаемые ($\Delta < -1$), а для 14 систем наблюдаемые скорости больше ($\Delta > 1$). Как было отмечено выше, ошибки теоретических скоростей занижены, так как ошибки определения постоянных апсидального движения оценить сложно. Поэтому случаев согласия в пределах ошибки в действительности может быть больше.

Следует обратить внимание на то, что случаев, когда теоретические скорости превосходят наблюдаемые, в два раза больше, чем случаев, когда теоретические скорости меньше наблюдаемых. Маловероятно, что такой результат связан со случайными ошибками.

Некоторые случаи отклонений за пределы ошибок ($|\Delta| > 1$) могут объясняться ошибками наблюдаемых величин. Поэтому рассмотрим также отклонения за пределы удвоенной и утроенной ошибки. В случае удвоенной ошибки результаты следующие: согласие достигается для 33 систем ($|\Delta| \leq 2$), теоретические скорости больше у 22 систем ($\Delta < -2$), наблюдаемые скорости больше у 7 систем ($\Delta > 2$). В этом случае систем, для которых теоретические скорости больше наблюдаемых, в 3 раза больше, чем систем, для которых наблюдаемая скорость больше теоретической оценки. В случае утроенной ошибки несимметричность результатов еще больше усиливается. В этом случае согласие достигается для 45 систем ($|\Delta| \leq 3$), теоретические скорости больше у 15 систем ($\Delta < -3$), а систем, для которых наблюдаемые скорости больше ($\Delta > 3$), всего две.

Из приведенных выше результатов статистического анализа можно сделать вывод, что ситуации, когда наблюдаемые скорости значимо больше теоретических, скорее всего, объясняются ошибками наблюдений и расчетов. Среди систем с замедленным наблюдаемым апсидальным движением, по-видимому, имеются как системы, для которых велики погрешности наблюдаемых и расчетных величин, так и системы, для которых наши оценки теоретических скоростей апсидального движения завышены. Если ситуация именно такая, как описано выше, то можно ожидать, что у систем со сравнительно небольшими относительными отклонениями теоретической скорости вращения линии апсид от наблюдаемой должно быть примерно одинаковое число положительных и

отрицательных значений Δ , в то время как для систем с большими отклонениями ситуация должна быть сильно несимметричной. Данные статистической обработки указывают именно на такую картину. Для систем с $|\Delta| < 2$ наблюдается примерно одинаковое число положительных и отрицательных отклонений, и их, по-видимому, можно объяснить случайными ошибками. В то же время при $|\Delta| > 2$ отрицательных отклонений значимо больше, и случайными ошибками это преобладание объяснить не удастся.

Рассмотрим подвыборку 26 систем с наиболее надежными определениями эксцентриситетов e и апсидальных периодов U . Для этого исключим из нашей выборки все системы с сильно различающимися оценками e , полученными разными авторами (см. примечания в [2]); с близкими к нулю значениями (величина $e < 3\sigma_e$, где σ_e - погрешность определения e , если она известна; с величинами $e < 0.1$, если ошибка σ_e не приводится в оригинальной работе). Кроме того, исключим из рассмотрения системы с сильно различающимися оценками U , приводимыми в разных работах (см. примечания в [2]). Оставшиеся 26 систем обозначены "*" в первом столбце табл.2. В результате столь жесткого отбора систем отпала даже такая известная система как DI Her.

Тем не менее, для этих систем упомянутый выше эффект сохраняется. Не обнаружено ни одной системы с $\Delta \geq 2$. В то же время имеется 9 систем с $\Delta \leq -2$. Таким образом, даже среди систем с надежно определенными апсидальными периодами и значимо отличающимися от нуля эксцентриситетами имеется ряд систем, для которых превышение теоретических скоростей апсидального движения над наблюдаемыми величинами статистически значимо.

Заметим, что известно несколько двойных систем, для которых имеются указания на неортогональность осей вращения компонентов к орбитальной плоскости. Чаще других упоминаются системы DI Her и AS Cam. Для этих и некоторых других систем объяснить замедленное апсидальное движение в рамках обычно используемых допущений о вращении компонентов весьма затруднительно (см., например, дискуссию в работе [13]).

Общий вывод настоящей работы можно сформулировать следующим образом. Имеет место явное преобладание систем, для которых теоретические скорости апсидального движения значимо превышают наблюдаемые над системами со значимым превышением наблюдаемых скоростей над теоретическими. Это расхождение усиливается при рассмотрении систем с более надежными данными наблюдений.

4. *Обсуждение.* Полученный результат можно интерпретировать следующим образом. Теоретические оценки относительной скорости

апсидального движения делались в предположении, что оси вращения компонентов ортогональны плоскости орбиты двойной системы и осевое вращение синхронизовано с орбитальным движением в перицентре. Однако для некоторых систем эти допущения могут быть не верны. Поэтому теоретические оценки скоростей апсидального движения для этих систем будут завышены. Оценки углов наклона осей вращения компонентов к плоскости орбиты будут сделаны в следующей статье.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Астрономический институт им. В.В.Соболева,
Россия, e-mail: vor@astro.spbu.ru

APSIDAL MOTION IN DETACHED DOUBLE STARS: COMPARISON BETWEEN THEORY AND OBSERVATIONS

A.V.PETROVA, V.V.ORLOV

A list of 62 detached double stars with reliable apsidal motions is considered. The theoretical apsidal rates are found. These values are compared with the observed ones. It is shown that the systems where the theoretical rates are greater than the observed ones are several times more often than the systems where the theoretical rates are smaller than the observed ones. This discordance grows when we use the systems with the most reliable apsidal rates.

Key words: *stars:binaries - stars:kinematics*

ЛИТЕРАТУРА

1. *H.N.Russell*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **88**, 641, 1928.
2. *A.V.Petrova, V.V.Orlov*, Astron. J., **117**, 587, 1999.
3. *T.E.Sterne*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **99**, 451, 1939.
4. *A.Claret, A.Giménez*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **81**, 1, 1989.
5. *A.Claret, A.Giménez*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **96**, 255, 1992.
6. *Z.Kopal*, Dynamics of Close Binary Systems, Reidel, Dordrecht, 1978.
7. *Р.А.Боцула*, Перемен. звезды, **22**, 572, 1987.

8. *М.А.Свечников*, Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд, Изд-во Иркутского ун-та, Иркутск, 1986.
9. *К.Ф.Халиуллин*, Астрон. ж., **60**, 72, 1983.
10. *D.E.Holmgren, G.Hill, W.Fisher, C.D.Scarfe*, Astron. Astrophys., **231**, 89, 1990.
11. *P.Mayer, P.Hadrava, P.Harmanec, D.Chochol*, Bull. Astron. Inst. Czech., **42**, 230, 1991.
12. *А.В.Петрова*, Астрон. ж., **72**, 937, 1995.
13. *C.H.S.Lacy*, Astron. J., **115**, 801, 1998.