

УДК: 524.38-32

АПСИДАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДАХ:
ВРАЩЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ

А.В.ПЕТРОВА, В.В.ОРЛОВ

Поступила 27 февраля 2003

Принята к печати 5 апреля 2003

Рассмотрена выборка из 51 разделенной системы с измеренными апсидальными периодами и ротационными скоростями компонентов. Для этих систем оценены интервалы углов наклона экваториальных плоскостей компонентов к плоскости орбиты. Показано, что для объяснения наблюдаемых скоростей апсидального движения примерно в 47% случаев (24 из 51 системы) оси вращения звезд должны быть не ортогональны плоскости орбиты и примерно в 59% случаев (30 из 51) вращение компонентов не синхронизовано с орбитальным движением. Неортогональность и несинхронность определяются как отклонения от 90° и от синхронизованной угловой скорости на уровень 1σ и более.

1. *Введение.* В тесных двойных звездах имеется взаимная приливная деформация компонентов. Кроме этого, компоненты деформируются за счет их осевого вращения. Поэтому динамика тесной двойной системы отличается от динамики двух точечных масс. Наиболее заметным является движение перицентра орбиты, которое наблюдается у многих двойных звезд. Нами был составлен каталог из 128 двойных звезд с измеренным апсидальным движением [1].

Помимо того, что апсидальное движение в двойной системе можно измерить, его можно определить теоретически. Для этого необходимо знать параметры двойной системы (большую полуось и эксцентриситет орбиты), отношение масс, радиусы и параметры вращения компонентов (скорости и наклоны плоскостей экваторов к плоскости орбиты), а также, так называемые, постоянные апсидального движения (см., например, [2] и [3]).

Все эти величины, кроме параметров осевого вращения и постоянных апсидального движения, определяются из наблюдательных данных. Постоянные апсидального движения зависят от концентрации вещества к центру звезды и определяются по звездным моделям. В литературе имеется достаточное количество таких расчетов (см. ссылки в [4]).

Наиболее неопределенными параметрами являются характеристики осевого вращения. Видимые ротационные скорости определяются по спектральным наблюдениям для некоторых компонентов двойных систем с измеренными апсидальными движениями. Ориентация осей вращения

из наблюдений не определяется, кроме отдельных редких случаев. Поэтому обычно делаются следующие предположения:

1. Оси вращения компонентов ортогональны плоскости орбиты.
2. Угловые скорости осевого вращения синхронизованы с угловой скоростью орбитального движения в перигентре орбиты.

Эти предположения достаточно оправданы, поскольку именно к этому состоянию ведет приливная эволюция.

Мы провели сравнение [4] теоретических и наблюдаемых скоростей апсидального движения для систем из [1]. Результаты этой работы можно кратко сформулировать следующим образом. Хотя согласие между теоретическими и наблюдаемыми скоростями апсидального движения достаточно хорошее (для трети разделенных систем из [1] имеется согласие в пределах суммы ошибок и для 75% - в пределах утроенной суммы ошибок), однако имеется сильная асимметрия: систем с превышением теоретической скорости над наблюдаемой в несколько раз больше, чем наоборот. Причем эта асимметрия растет при более жестком подходе к учету ошибок. Крайне маловероятно, что такой результат обусловлен ошибками. Следует заметить, что для более тесных систем с обменом вещества подобной асимметрии не наблюдается, хотя наблюдения гораздо менее надежные.

Полученный результат требует объяснения. В настоящей работе мы предлагаем возможное объяснение этого эффекта за счет отказа от предположений об осевом вращении компонентов. Нам представляется, что принятые предположения о вращении компонентов, хотя и оправданы, все-таки не более чем допущения. Кроме того, в литературе имеется ряд указаний (см., например, [5] и [6]) на то, что подобные предположения могут не выполняться.

Рассмотрим некоторые другие варианты объяснения асимметрии.

Ошибки наблюдений. Ошибки могут существенно уменьшить долю систем, для которых имеет место согласие теории и наблюдений, однако отклонения должны быть приблизительно одинаковы в обе стороны. Если все-таки предположить, что полученный результат - следствие ошибок, то придется признать, что в значительном числе определений *и/или* теоретических расчетов имеется систематическая ошибка.

Постоянные апсидального движения. Хотя в литературе имеется значительное число расчетов постоянных апсидального движения, различия между ними не могут объяснить полученный результат. Кроме того, если предположить, что систематические ошибки вносят постоянные апсидального движения, то не должно быть столь большой доли согласования теории и наблюдений. Следует заметить, что нет корреляции между расхождениями теории и наблюдений и характеристиками звезд.

Третье тело. Этим эффектом часто пытаются объяснить расхождения между теорией и наблюдениями в тесных двойных вообще и в задаче об

апсидальном движении в частности. Хотя наличие третьего тела может, в принципе, в особых случаях замедлить апсидальное движение в системе, однако необходимо иметь в виду следующее. Движение третьего тела по орбите приводит к колебаниям скорости апсидального движения как в сторону замедления, так и в сторону ускорения. Третье тело должно быть заметно слабее двойной по светимости, а следовательно менее массивно. Чтобы его влияние стало заметно, оно должно находиться на небольшом расстоянии от двойной, то есть иметь небольшой период обращения вокруг двойной и колебания должны наблюдаться. Кроме того, третье тело должно находиться на орбите, приблизительно ортогональной к плоскости орбиты двойной, а угол между линией апсид двойной и линией узлов двух орбит должен быть близок к 90° . Маловероятно, что столь специфические условия реализуются в значительном числе систем.

Вынужденные пульсации. Некруговая орбита и несинхронное вращение звезды вызывают движения отдельных элементов звезды друг относительно друга, что приводит к пульсациям звезды. Влияние пульсаций на апсидальное движение изучалось в ряде работ (см., например, [7-9]). Для того, чтобы этот механизм был существенен, необходимо, чтобы орбитальное движение звезды и ее свободные колебания были близки к резонансу. Так можно было бы объяснить единичные случаи, но крайне маловероятно, что в большинстве двойных систем имеется резонанс.

Еще ряд механизмов возможного замедления апсидального движения был рассмотрен в [10], но ни один из этих механизмов не дает удовлетворительного объяснения.

В настоящей работе обсуждается допустимость используемых обычно предположений о вращении компонентов, а также оцениваются интервалы углов наклона экваториальных плоскостей компонентов к плоскости орбиты.

2. Допустимость обычных предположений о вращении компонентов. Для изучения влияния характеристик вращения компонентов на апсидальное движение мы выбрали 51 разделенную систему из [1], для которых известны видимые ротационные скорости хотя бы для одного из компонентов. Этот список не претендует на полноту, поскольку систематического поиска ротационных скоростей по литературе не проводилось.

Значения видимых ротационных скоростей компонентов этих систем приведены в табл.1. Остальные данные об этих системах приводятся в [1]. В таблице приводятся порядковый номер системы согласно [1]; название системы; значения $\tilde{V}_1$ и $\tilde{V}_2$ видимых ротационных скоростей для обоих компонентов с ошибками, если они известны. Ошибки приводятся в таблице ниже самих значений. Как правило, величины $\tilde{V}_1$ и $\tilde{V}_2$ брались из тех же работ, что и скорости апсидального движения (см. ссылки в [1]).

СКОРОСТИ ОСЕВОГО ВРАЩЕНИЯ И ИХ ВКЛАД В
АПСИДАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

№	Название	$\tilde{V}_1$	$\tilde{V}_2$	$(P/U)_{rest}$	$(P/U)_{ort}$	$(P/U)_{st}$	Множитель
2	σ Aql	130	120	-2.243 ± 293	0.475 ± 70	0.269 ± 49	$\times 10^{-4}$
5	V539 Ara	75 ± 8	48 ± 5	1.878 581	0.481 83	0.857 9	$\times 10^{-5}$
11	AS Cam	40 10	30 10	-5.815 1.420	1.060 432	1.680 80	$\times 10^{-6}$
13	EM Car	150 20	130 15	1.790 3.200	2.998 549	3.730 50	$\times 10^{-5}$
16	QX Car	120 10	110 10	0.679 69	1.301 165	0.752 13	$\times 10^{-5}$
17	α Car 117 Car	40	-	-9.853 2.963	0.232 42	1.847 364	$\times 10^{-5}$
19	AO Cas	130	120	-5.776 952	0.373 59	1.117 144	$\times 10^{-4}$
20	AR Cas	134	-	1.023 195	1.167 247	0.346 46	$\times 10^{-5}$
21	CC Cas	148	-	-2.269 570	0.445 86	1.066 135	$\times 10^{-4}$
23	PV Cas	65	65	-2.091 227	0.887 126	0.752 30	$\times 10^{-5}$
26	V346 Cen	165 15	140 15	2.472 487	2.059 340	1.502 151	$\times 10^{-5}$
30	CW Cep	207	-	4.208 230	4.311 738	2.370 30	$\times 10^{-5}$
32	EK Cep	23 2	10 2	3.380 8.968	1.773 264	1.820 460	$\times 10^{-7}$
33	LZ Cep 14 Cep	120	-	-1.427 338	0.206 39	0.425 44	$\times 10^{-4}$
34	NY Cep	75 10	125 14	2.715 1.980	0.328 64	0.135 16	$\times 10^{-5}$
35	α CrB	150	195	0.364 180	4.474 800	0.058 1	$\times 10^{-6}$
36	SV CrI	25	-	2.144 232	0.012 3	0.018 4	$\times 10^{-5}$
37	Y Cyg	142 2	138 2	0.284 498	3.929 276	3.020 110	$\times 10^{-5}$
41	V380 Cyg	100 5	40 10	-0.701 112	0.964 98	1.133 35	$\times 10^{-5}$
42	V453 Cyg	266	-	2.437 1.034	9.001 1.887	1.660 130	$\times 10^{-5}$
43	V477 Cyg	64 11	50 9	5.011 1.143	3.485 893	3.700 350	$\times 10^{-6}$
46	V1143 Cyg	21 2	28 3	-2.054 1.112	2.783 432	4.380 90	$\times 10^{-7}$
50	V1765 Cyg HR 7551	135 10	30	-0.660 330	0.774 121	1.045 150	$\times 10^{-5}$

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
51	57 Cyg	40	-	-1.728 4.941	4.409 1.045	7.680 1.080	$\times 10^{-6}$
53	RX Her	78	68	-4.707 1.134	0.772 117	0.868 49	$\times 10^{-5}$
55	DI Her	130	78	-2.462 69	4.113 676	0.428 15	$\times 10^{-6}$
56	HS Her	83	-	-0.060 984	0.969 113	1.294 159	$\times 10^{-5}$
64	2 Lac	60	-	-7.902 1.051	0.648 131	1.224 164	$\times 10^{-3}$
66	GG Lup	97	61	0.886 204	1.090 157	0.897 13	$\times 10^{-5}$
74	U Oph	125	115	-0.241 632	4.426 293	2.260 80	$\times 10^{-5}$
75	V451 Oph	41	30	2.643 5.629	1.708 448	4.570 120	$\times 10^{-6}$
76	δ Ori	109	-	-8.483 2.286	1.802 377	9.540 650	$\times 10^{-5}$
78	ι Ori	69	46	-1.488 615	0.183 31	3.278 451	$\times 10^{-5}$
79	π^5 Ori	97	-	-3.646 5.874	1.580 313	2.000 30	$\times 10^{-5}$
80	ψ Ori	167	150	-8.493 1.858	4.922 853	2.530 320	$\times 10^{-5}$
83	σ Per	75	150	-2.406 2.745	1.644 234	2.390 240	$\times 10^{-5}$
85	AG Per	89	71	1.046 240	1.016 151	1.131 41	$\times 10^{-5}$
86	IQ Per	68	44	0.300 3.086	5.889 324	8.280 130	$\times 10^{-6}$
87	b Per	75	-	-0.595 2.246	0.661 128	1.290 50	$\times 10^{-5}$
88	ς Phe	85	75	3.360 1.524	1.144 166	1.260 20	$\times 10^{-5}$
89	UU Psc 35 Psc	90	-	7.527 2.813	3.233 520	2.460 330	$\times 10^{-5}$
		90	-	-5.136 1.036	0.884 146	1.068 142	$\times 10^{-4}$
92	VV Pyx	23	23	0.912 1.229	0.188 348	0.457 3	$\times 10^{-6}$
98	V1647 Sgr	80	70	3.914 279	4.309 412	4.020 90	$\times 10^{-6}$
100	β Sco	100	-	1.757 5.403	6.106 1.748	6.360 2.010	$\times 10^{-6}$
101	μ^1 Sco	216	-	-8.248 1.049	1.706 271	1.213 196	$\times 10^{-4}$
103	V760 Sco	95	85	1.104 922	1.627 264	1.610 40	$\times 10^{-5}$
		10	10				

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8
105	τ Tau	187	-	4.124 2.456	4.876 1.027	0.580 107	$\times 10^{-5}$
114	α Vir	161 2	70 5	-0.247 1.228	3.353 212	2.270 250	$\times 10^{-5}$
118	HR 1952 HD 37756 BD-1°1004	106	148	-6.223 521	0.684 112	0.832 97	$\times 10^{-5}$
121	HR 8384 HD 208947	250	-	3.870 1.515	6.838 1.374	1.156 189	$\times 10^{-5}$
123	HR 8800 HD 218407	160	-	3.488 832	2.388 492	1.165 149	$\times 10^{-5}$

Скорость апсидального движения, обусловленного вращением компонентов в двойной системе, определяется по следующей формуле (см., например, [3]):

$$\left(\frac{P}{U}\right)_{\text{от}} = \left[\frac{k_1 R_1^5 \left(\frac{\omega_1}{\omega_k}\right)^2 \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 \theta_1\right) + \frac{k_2 R_2^5 \left(\frac{\omega_2}{\omega_k}\right)^2 \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 \theta_2\right)}{M_2} \right] \frac{M_1 + M_2}{a^5 (1 - e^2)^2}, \quad (1)$$

где P и U - орбитальный и апсидальный периоды, a и e - большая полуось и эксцентриситет орбиты двойной, M_1 и M_2 - массы компонентов, R_1 и R_2 - их радиусы, k_1 и k_2 - постоянные апсидального движения, ω_1 и ω_2 - угловые скорости вращения, θ_1 и θ_2 - углы между плоскостями орбиты и экваторов звезд, $\omega_k = 2\pi/P$ - средняя угловая скорость орбитального движения.

В табл.1 приведены вклады в апсидальное движение вращательной деформации компонентов, полученные тремя различными способами:

$(P/U)_{\text{гес}}$ - вклад в апсидальное движение дают только три эффекта: ОТО, приливная деформация и вращательная деформация, а так как первые два эффекта не зависят от вращения компонентов, то остаток от наблюдаемой величины после учета первых двух эффектов (см. [2]) - это вклад от вращательной деформации;

$(P/U)_{\text{от}}$ - выполнено предположение об ортогональности осей вращения звезд плоскости орбиты ($\theta_{1,2} = 0$), а скорости осевого вращения взяты из наблюдений;

$(P/U)_{\text{ст}}$ - выполнены обычные предположения о вращении компонентов $\theta_{1,2} = 0$, $(\omega_{1,2}/\omega_k)^2 = (1+e)/(1-e)^3$.

Все величины необходимо домножить на коэффициент, указанный в последнем столбце таблицы.

По данным табл.1 системы можно разделить на шесть групп:

- 8 систем, для которых все три величины согласуются в пределах ошибок, то есть обычные предположения о вращении выполнены.

- 6 систем, для которых $(P/U)_{\text{rest}}$ и $(P/U)_{\text{ort}}$ согласуются в пределах ошибок, а $(P/U)_{\text{st}}$ отличается, в этих случаях выполнено предположение об ортогональности осей вращения компонентов плоскости орбиты, а скорости осевого вращения могут быть не синхронизованы с орбитальным движением в перицентре.

- 24 системы, для которых все три величины не согласуются, то есть обычные предположения о вращении, вероятно, не выполнены.

- 4 системы, для которых $(P/U)_{\text{ort}}$ и $(P/U)_{\text{st}}$ не согласуются, то есть вращение не синхронизовано, однако величина $(P/U)_{\text{rest}}$ имеет очень большую ошибку, что приводит к ее согласию с другими величинами. Для этих систем по апсидальному движению нельзя сделать каких-либо выводов о вращении компонентов.

- 2 системы, для которых $(P/U)_{\text{rest}}$ и $(P/U)_{\text{st}}$ согласуются, а $(P/U)_{\text{ort}}$ отличается. В этих случаях, видимо, выполнены обычные предположения о вращении компонентов, а данные о видимых ротационных скоростях ошибочны. В принципе, не исключено, что оси вращения наклонены, а согласование $(P/U)_{\text{rest}}$ и $(P/U)_{\text{st}}$ случайно, но это маловероятно.

- 7 систем, для которых $(P/U)_{\text{ort}}$ и $(P/U)_{\text{st}}$ согласуются, то есть скорости синхронизованы, однако величина $(P/U)_{\text{rest}}$ от них значительно отличается. В этих случаях, возможно, ошибочно значение $(P/U)_{\text{rest}}$ или согласование угловых скоростей с синхронизованными не связано с динамическими процессами синхронизации, а случайно. Заметим, что в пяти случаях компоненты имеют спектральный класс В. Для таких систем угловые скорости вращения одиночных звезд примерно такие же, что и угловые скорости орбитального движения в столь тесных системах, как рассматриваемые.

Таким образом, из 51 системы для 8 систем, вероятно, выполняются стандартные предположения о вращении. Для 6 систем, в которых скорости осевого вращения не синхронизованы, можно объяснить наблюдаемое апсидальное движение при предположении об ортогональности осей вращения звезд к орбитальной плоскости. Для 24 систем по имеющимся данным оси вращения должны быть не ортогональны. В 13 системах не удастся сделать определенного вывода о вращении компонентов: для 6 систем нельзя сделать каких-либо определенных выводов из-за больших ошибок наблюдаемых величин; еще для 7 систем согласование угловых скоростей с синхронизованными, возможно, случайно.

3. *Оценки углов наклона экваторов звезд к плоскости орбиты.* Для этих оценок воспользуемся выражением (1) для скорости апсидального движения, вызванного вращательной деформацией звезд. При произвольной ориентации осей вращения звезд в (1) входят четыре неизвестные величины: угловые скорости осевого вращения ω_1 и ω_2 , а также углы наклона θ_1 и

θ_2 экваториальных плоскостей звезд к орбитальной плоскости. Уравнение (1) можно записать через видимые ротационные скорости звезд $\bar{V}_1$ и $\bar{V}_2$ в следующем виде:

$$\left(\frac{P}{U}\right)_{rot} \frac{\omega_k^2 a^5 (1-e^2)^2}{M_1 + M_2} = \frac{k_1 R_1^3}{M_1} \bar{V}_1^2 \frac{1 - \frac{3}{2} \sin^2 \theta_1}{\sin^2 i_1} + \frac{k_2 R_2^3}{M_2} \bar{V}_2^2 \frac{1 - \frac{3}{2} \sin^2 \theta_2}{\sin^2 i_2}. \quad (2)$$

В это уравнение входят четыре неизвестные величины: углы θ_1 и θ_2 , а также углы i_1 и i_2 между осями вращения компонентов и лучом зрения. Углы i_1 и i_2 меняются в следующих интервалах:

$$i - \theta_{1,2} \leq i_{1,2} \leq 90^\circ. \quad (3)$$

Неравенства (3) накладывают дополнительные ограничения на неизвестные углы.

Тем не менее решить уравнение (2) с учетом неравенств (3) не представляется возможным. Поэтому мы зададимся некоторыми дополнительными предположениями об ориентации осей вращения звезд по отношению к плоскости орбиты. Рассмотрим три варианта:

1) $\theta_1 = \theta_2$ - обе оси наклонены под одним и тем же углом к плоскости орбиты;

2) $\theta_1 = 0$ - ось вращения главного компонента ортогональна к плоскости орбиты;

3) $\theta_2 = 0$ - ось вращения вторичного компонента ортогональна к плоскости орбиты.

В первом случае мы получим некоторые усредненные оценки углов θ ; во втором и третьем случаях - оценки максимальных значений углов θ .

Интервалы значений углов θ , определяемые из неравенства (3) для каждого варианта, приведены в табл.2. Интервальные оценки углов θ получены без учета (верхние строки) и с учетом (нижние строки) ошибок величин, входящих в уравнение (2). В таблице встречаются случаи, когда нижняя граница равна целому числу 0 и/или верхняя граница равна целому числу 90. Ноль означает, что нижняя граница для $\sin^2 \theta$ получилась отрицательной. Случай, когда верхняя граница $\sin^2 \theta$ больше единицы, обозначен числом 90. Прочерки в таблице соответствуют тем случаям, когда весь диапазон решений для $\sin^2 \theta$ лежит вне допустимых значений для квадрата синуса.

Для 23 систем возможны значения углов $\theta = 0$, то есть в этих системах оси вращения звезд могут быть ортогональны к плоскости орбиты. В остальных системах (около 55% случаев) нижние границы углов θ значительно превышают нулевое значение. По-видимому, в этих системах оси вращения одного или обоих компонентов неортогональны к плоскости орбиты. Заметим, что в число этих систем попали 21 из 24 систем, для которых выше высказано предположение о неортогональности.

Таблица 2

УГЛЫ МЕЖДУ ПЛОСКОСТЯМИ ОРБИТЫ И ЭКВАТОРА

№	Название	$\theta_1 = \theta_2$	$\theta_1 = 0$	$\theta_2 = 0$
2	σ Aql	73.5 + 90 72.4 + 90	81.0 + 90 80.2 + 90	76.0 + 90 74.6 + 90
5	V539 Ara	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
11	AS Cam	74.5 + 90 71.7 + 90	81.9 + 90 79.5 + 90	76.6 + 90 73.7 + 90
13	EM Car	31.2 + 41.9 0 + 90	52.2 + 53.8 0 + 90	43.4 + 50.0 0 + 90
16	QX Car	34.4 + 44.4 31.5 + 47.7	56.6 + 61.2 49.6 + 77.8	47.5 + 52.0 41.1 + 54.9
17	a Car 117 Car	83.9 + 90 82.9 + 90	87.4 + 90 87.0 + 90	84.4 + 90 83.5 + 90
19	AO Cas	80.1 + 90 79.4 + 90	82.9 + 90 82.1 + 90	83.1 + 90 82.5 + 90
20	AR Cas	16.7 + 26.4 0 + 40.9	84.0 + 90 0 + 90	16.7 + 26.5 0 + 47.6
21	CC Cas	74.0 + 90 72.5 + 90	84.5 + 90 84.0 + 90	74.9 + 90 73.3 + 90
23	PV Cas	68.9 + 90 67.8 + 90	74.5 + 90 73.2 + 90	75.0 + 90 73.7 + 90
26	V346 Cen	- 0 + 90	0 + 90 0 + 90	- 0 + 90
30	CW Cep	7.2 + 12.3 0 + 90	17.3 + 27.2 0 + 90	8.0 + 13.6 0 + 41.7
32	EK Cep	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
33	LZ Cep 14 Cep	75.9 + 90 74.6 + 90	83.0 + 90 82.3 + 90	77.6 + 90 76.3 + 90
34	NY Cep	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
35	α CrB	51.5 + 53.6 50.9 + 55.3	62.4 + 90 60.2 + 90	62.5 + 90 60.4 + 90
36	SV CrI	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
37	Y Cyg	51.9 + 53.7 48.6 + 59.2	62.5 + 90 60.7 + 90	62.7 + 90 60.8 + 90
41	V380 Cyg	61.7 + 90 60.8 + 90	86.5 + 90 85.7 + 90	61.9 + 90 60.9 + 90
42	V453 Cyg	44.2 + 50.4 41.6 + 55.7	81.6 + 90 80.1 + 90	45.1 + 50.8 39.8 + 53.4
43	V477 Cyg	- 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
46	V1143 Cyg	61.8 + 90 59.0 + 90	66.8 + 90 64.0 + 90	72.2 + 90 69.9 + 90
50	V1765 Cyg HR 7551	62.6 + 90 59.9 + 90	86.9 + 90 86.5 + 90	62.7 + 90 60.0 + 90
51	57 Cyg	59.1 + 74.4 70.6 + 90	63.3 + 90 23.7 + 90	71.9 + 90 11.5 + 90

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5
53	RX Her	75.1 + 90 73.6 + 90	80.4 + 90 79.2 + 90	78.5 + 90 77.0 + 90
55	DI Her	60.8 + 90 60.0 + 90	75.1 + 90 73.8 + 90	63.8 + 90 62.6 + 90
56	HS Her	55.5 + 57.3 9.7 + 90	78.5 + 90 58.0 + 90	56.8 + 61.8 9.1 + 90
64	2 Lac	79.0 + 90 78.0 + 90	79.3 + 90 78.3 + 90	87.5 + 90 87.2 + 90
66	GG Lup	20.7 + 31.5 0 + 40.4	54.8 + 55.0 0 + 90	23.1 + 34.2 0 + 48.9
74	U Oph	55.4 + 57.3 51.2 + 63.4	67.4 + 90 65.8 + 90	61.3 + 90 59.5 + 90
75	V451 Oph	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
76	δ Ori	73.5 + 90 71.2 + 90	87.6 + 90 87.1 + 90	73.7 + 90 71.4 + 90
78	ι Ori	76.8 + 90 74.7 + 90	83.0 + 90 81.7 + 90	78.8 + 90 76.8 + 90
79	π^5 Ori	68.8 + 90 0 + 90	87.3 + 90 0 + 90	68.9 + 90 0 + 90
80	ψ Ori	66.8 + 90 65.4 + 90	77.5 + 90 76.4 + 90	69.9 + 90 68.2 + 90
83	σ Per	65.7 + 90 29.3 + 90	74.9 + 90 0 + 90	70.1 + 90 64.5 + 90
85	AG Per	- 0 + 55.2	- 0 + 90	- 0 + 90
86	IQ Per	52.7 + 54.0 33.6 + 90	74.4 + 90 70.6 + 90	56.2 + 59.5 35.2 + 90
87	b Per	62.8 + 90 0 + 90	81.6 + 90 79.5 + 90	63.8 + 90 0 + 90
88	ζ Phe	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
89	UU Psc 35 Psc	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
		74.8 + 90 73.6 + 90	81.3 + 90 80.4 + 90	77.4 + 90 76.1 + 90
92	VV Pyx	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90	0 + 90 0 + 90
98	V1647 Sgr	14.3 + 23.2 0 + 28.9	22.7 + 33.8 0 + 49.8	18.8 + 29.1 0 + 43.1
100	β Sco	43.6 + 50.0 0 + 90	68.2 + 90 0 + 90	51.6 + 53.6 0 + 90
101	μ^1 Sco	73.7 + 90 72.5 + 90	82.5 + 90 81.9 + 90	75.3 + 90 73.9 + 90
103	V760 Sco	27.6 + 38.7 0 + 62.0	43.8 + 50.2 0 + 90	38.5 + 47.2 0 + 90
105	τ Tau 94 Tau	18.7 + 29.0 0 + 59.3	84.5 + 90 0 + 90	18.7 + 29.1 0 + 69.2
114	α Vir	55.7 + 57.8 43.3 + 78.7	80.2 + 90 78.5 + 90	56.6 + 61.0 45.2 + 90

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5
118	HR 1952	77.5 + 90	82.6 + 90	79.7 + 90
	HD 37756	76.5 + 90	81.9 + 90	78.8 + 90
	BD-1°1004			
121	HR 8384	32.5 + 43.0	75.0 + 90	33.7 + 43.9
	HD 208947	21.9 + 53.1	70.5 + 90	20.5 + 52.6
123	HR 8800	-	0 + 90	-
	HD 218407	0 + 90	0 + 90	0 + 90

Заметим, что для системы DI Нег были оценены углы θ в работах [11] и [12]. Авторы [11] предположили, что $\theta_1 = \theta_2$ и получили две оценки $\theta_{1,2} = 69^\circ$ и $\theta_{1,2} = 72^\circ$. В [12] были найдены оба угла $\theta_1 = 78^\circ \pm 3^\circ$ и $\theta_2 = 67^\circ \pm 5^\circ$. Все эти оценки свидетельствуют о неортогональности осей вращения звезд к плоскости орбиты в этой системе. Они попадают в полученные нами интервалы (см. табл.2).

Заметим, что скорости вращения компонентов должны быть меньше критических скоростей, соответствующих равенству гравитационной и центробежной сил на экваторе звезды. Это условие выполнено для всех систем, за исключением системы CW Сер и тех систем, в которых возможный диапазон углов θ - $(0^\circ, 90^\circ)$. В этих системах диапазон скоростей вращения содержит и критические значения. Если в этих системах оси вращения компонентов ортогональны орбитальной плоскости, то получающиеся скорости вращения меньше критических значений. Для всех систем с осями вращения компонентов, неортогональными плоскости орбиты, ротационные скорости компонентов меньше не только критических значений, но в большинстве случаев и характерных скоростей вращения одиночных звезд данного спектрального класса.

Таким образом, обычные предположения о вращении компонентов в тесных двойных звездах выполнены далеко не во всех случаях. Для рассмотренных нами 51 системы с измеренными ротационными скоростями звезд и апсидальным движением в 24 системах (около 47% случаев) не выполнено условие ортогональности осей вращения компонентов к плоскости орбиты и в 30 системах (около 60% случаев) вращение компонентов не синхронизовано с орбитальным движением в перигеетрии.

Основной вывод состоит в том, что в ряде двойных звезд с разделенными компонентами можно объяснить наблюдаемые скорости апсидального движения, если отказаться от обычных предположений о вращении компонентов.

APSIDAL MOTION IN BINARIES: ROTATION OF COMPONENTS

A.V.PETROVA, V.V.ORLOV

A sample of 51 detached binaries with measured apsidal periods and rotational velocities of components is compiled. For these systems, the ranges of inclinations between equatorial planes of components and orbital plane are estimated. It is shown that in order to explain the observed apsidal rates one has to assume that stellar axes are non-orthogonal to orbital plane in approximately 47% of systems (24 of 51), and the rotational velocities of the components are not synchronized with orbital motion in approximately 59% of the systems (30 of 51). Non-orthogonality and non-synchronization are defined as deviations from 90° and from synchronized angular velocity to the level of 1σ and more.

Key words: *stars:binaries - stars:rotation*

ЛИТЕРАТУРА

1. A.V.Petrova, V.V.Orlov, Astron. J., 117, 587, 1999.
2. A.H.Batten, Binary and Multiple Systems of Stars, Pergamon Press, Oxford, 1973.
3. Z.Kopal, Dynamics of Close Binary Systems, Reidel, Dordrecht, 1978.
4. А.В.Петрова, В.В.Орлов, Астрофизика, 45, 409, 2002.
5. G.Giuricin, F.Mardirossian, M.Mezzetti, Astron. Astrophys., 135, 393, 1984.
6. A.Stawikowski, R.Glebocki, Acta Astron., 44, 33, 1994.
7. J.-P.Zahn, Astron. Astrophys., 41, 329, 1975.
8. J.Papaloizou, J.E.Pringle, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 193, 603, 1980.
9. P.Smeyers, M. Van Hout, E.Ruymaekers, R.Polfliet, Astron. Astrophys., 248, 94, 1991.
10. E.F.Guinan, F.P.Maloney, Astron. J., 90, 1519, 1985.
11. R.Company, M.Portilla, A.Giménez, Astrophys. J., 335, 962, 1988.
12. M.P.Reisenberger, E.F.Guinan, Astron. J., 97, 216, 1989.