

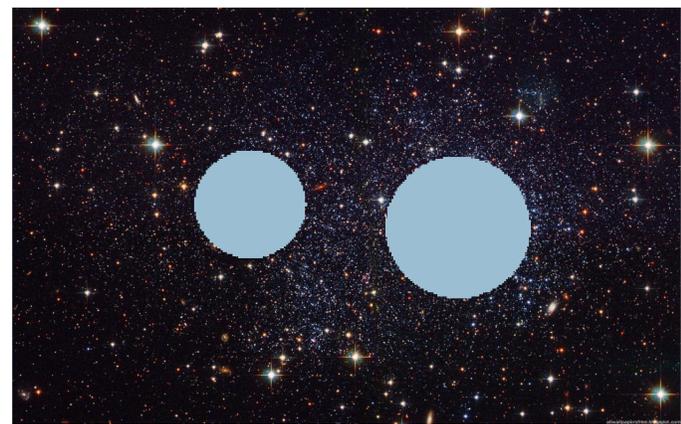
Двойная система раннего типа W Sct: первый анализ UVB кривых блеска и модель

Э.А. Антохина¹, И.И. Антохин¹, К.Б. Чаргеишвили²

¹ Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Москва Россия

² Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е.К.Харадзе, Грузия

email: elant@sai.msu.ru



Абстракт

Переменность двойной системы W Sct была открыта в начале 20 в., но до сих пор система остается малоизученной. Единственные спектроскопические исследования были сделаны Струве (1946), который смог построить кривую лучевых скоростей для одного компонента и классифицировать его спектр как ВЗ. Первые фотометрические наблюдения были выполнены в Абастуманской АО в 1978-2003 гг. (Кумсиашвили и др., 2014). Наблюденные UVB кривые блеска мы проанализировали с использованием методов синтеза. Поскольку отношение масс q в системе неизвестно, поиск решения проводился для ряда значений q . Расчеты показали, что, независимо от заданных значений q , модельные решения соответствуют наклону орбиты $i \sim 81^\circ$ и температуре вторичного компонента $T_2 \sim 32000-33000$ К при заданной температуре главного компонента $T_1=17000$ К (звезда ВЗ). На основе выполненного анализа кривых блеска с привлечением информации о функции масс главного компонента, найденной Струве (1946), сделан вывод, что вторичным компонентом является более горячая звезда В0. Полученные результаты позволили дать ограничения на значение отношения масс $q=M_2/M_1=0.3-0.4$ и получить оценки абсолютных параметров компонентов.

Наблюдения

Двойная система W Sct состоит из звезд ранних спектральных классов и является членом ассоциации Ser OB1, в которую также входит уникальная двойная система RY Sct, находящаяся на стадии превращения в систему WR+OB (Антохина и Черепашук, 1988). Определение параметров компонентов двойных систем на стадии до первичного обмена масс (к которым относится W Sct) представляет интерес для изучения эволюции ТДС. В Абастуманской АО в течение ряда лет выполнялась программа наблюдений ТДС ранних спектральных типов, были получены фотометрические кривые блеска многих объектов, в том числе, впервые получены UVB кривые блеска системы W Sct ($V_{max}=9.67$) (Кумсиашвили и др., 2014). Наблюдения проводились на рефлекторе АЗТ-14А (диаметр 0.48 м) в течение 1978-2003 гг. Всего было получено около 300 индивидуальных точек в каждом цвете. Орбитальные фазы наблюдаемых точек вычислялись с использованием эфемерид Хоффмейстера (1921) и Кордильевского (1931): $JD(hel.) = 2420665.476 + 10.42703 \times E$.

Анализ кривых блеска

Анализ UVB кривых блеска W Sct был выполнен с использованием нашего программного кода синтеза теоретических кривых блеска и кривых лучевых скоростей тесных двойных систем в модели Роша (Антохина, 1988, 1996). Для системы W Sct неизвестно отношение масс $q=M_2/M_1$. На основе спектральных наблюдений Струве (1946) указал, что в спектре отчетливо видны линии только звезды ВЗ. По кривой лучевых скоростей главного компонента ВЗ он определил функцию масс $f_1(m)=0.468$ солн. масс. Поэтому мы провели поиск решения фотометрических кривых блеска независимо для ряда заданных значений q , а затем оценили абсолютные параметры, используя информацию о значении функции масс. Эффективная температура главного компонента (ВЗ) $T_1=17000$ К была задана в соответствии с работами Хамфрейс и Мак-Элрой (1984); Грандл и др. (2007). При модельных расчетах предполагалось, что фаза 0 соответствует моменту затмения вторичного компонента главным. В табл.1 приведены параметры решения UVB кривых блеска W Sct для различных значений отношения масс $q=M_2/M_1 = 0.3-1.0$. На рис.1 приведены наблюдаемые UVB кривые блеска и теоретические кривые для наилучших параметров модели при $q = 0.4$.

Обсуждение результатов

Выполненный анализ кривых блеска W Sct подтвердил известный факт, что только по одним кривым блеска двойной системы сложно сделать заключение об отношении масс, необходима информация о кривых лучевых скоростей. На рис. 2 показаны величины невязок в зависимости от q , хорошо видно, что сделать заключение о величине отношения масс не представляется возможным. Параметры решения кривых блеска для различных q , приведенные в табл. 1, позволяют сделать следующие основные выводы: 1) система W Sct имеет разделенную конфигурацию, 2) независимо от принятого значения q модельное решение соответствует следующим параметрам: наклонение орбиты $i \sim 81^\circ$, температура вторичного компонента $T_2 \sim 32000-33000$ К. Используя полученное значение наклонения орбиты и значение функции масс главного компонента из работы Струве (1946) можно вычислить массы компонентов для различных q (см. табл. 2). Эта таблица позволяет дать ограничения на величину отношения масс в системе W Sct.

В своей работе Струве (1946) определил спектральный класс главного компонента как ВЗп и отметил, что необычно, что этот более яркий компонент находится в главном минимуме впереди вторичного, невидимого в спектре. Струве предположительно оценил спектральный класс невидимого компонента как В0. Этот вывод подтверждается результатами нашего анализа кривых блеска. Найденная температура вторичного компонента $T_2 \sim 32000-33000$ К оказывается даже несколько выше оценки средней температуры для В0 звезд $T \sim 28000-30000$ К в работе Хамфрейс и Мак-Элрой (1984), но соответствует оценке температуры для В0 в статье Вакка и др. (1996) $T \sim 32000-33000$ К.

Приведенные в табл. 2 массы компонентов соответствуют оценкам масс для В звезд при $q=0.3-0.4$ (см., например, Грандл и др., 2007; Торрес и др., 2010; Хохле и др., 2010). Таким образом, можно предположить, что наиболее вероятное значение отношения масс в системе W Sct $q \sim 0.3-0.4$. В табл. 3 приведены абсолютные параметры компонентов для трех отношения масс $q=0.30, 0.35, 0.40$. На рис.3 показана компьютерная модель W Sct для различных фаз орбитального периода при $q = 0.4$. Окончательно вопрос об отношении масс в системе можно будет прояснить после проведения новых спектральных наблюдений и построения кривых лучевых скоростей.

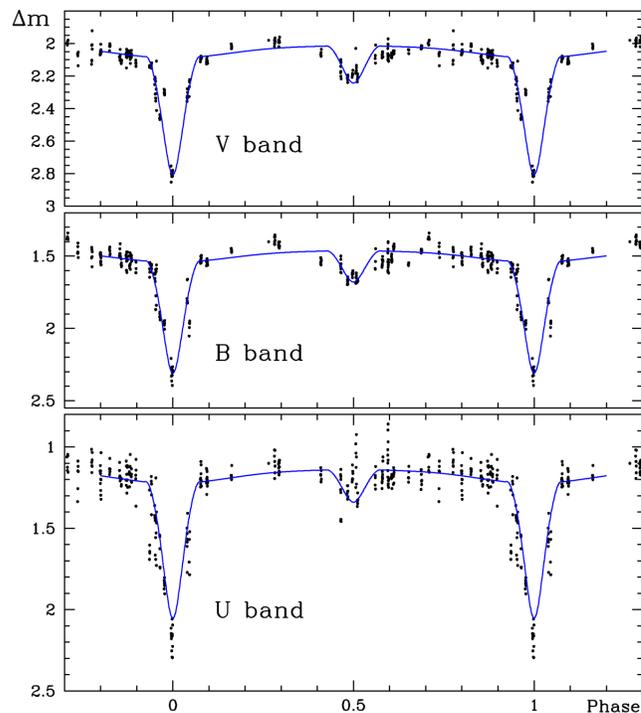


Рис. 1. Наблюденные и модельные UVB кривые блеска для $q=0.4$. В фазе 0 главный компонент ВЗп находится впереди вторичного.

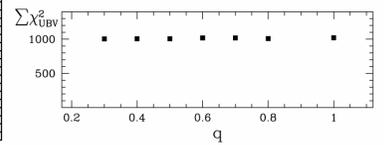


Рис. 2. Суммарная невязка для трех цветов в зависимости от значения отношения масс. q . Видно, что по фотометрическому решению отношение масс выбрать нельзя

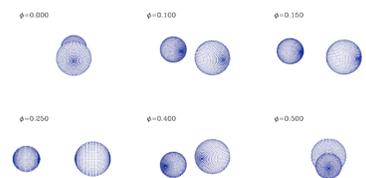


Рис. 3. Компьютерная модель W Sct для различных фаз орбитального периода. В фазе 0 впереди находится главный компонент ВЗп.

Таблица 1. Фотометрические решения для различных значений отношения масс компонентов q .

Parameters	$q = M_2/M_1$					Parameter status
	0.3	0.4	0.5	0.7	1.0	
i ($^\circ$)	81.3 ± 0.3	81.2 ± 0.3	81.1 ± 0.3	81.2 ± 0.3	81.3 ± 0.3	adjusted
Ω_1	4.167 ± 0.060	4.231 ± 0.060	4.291 ± 0.060	4.465 ± 0.060	4.862 ± 0.060	adjusted
Ω_2	8.759 ± 0.070	7.636 ± 0.070	7.227 ± 0.070	6.878 ± 0.070	6.555 ± 0.070	adjusted
μ_1	0.566 ± 0.040	0.601 ± 0.040	0.634 ± 0.040	0.684 ± 0.040	0.721 ± 0.040	adjusted
μ_2	0.699 ± 0.050	0.683 ± 0.050	0.631 ± 0.050	0.559 ± 0.050	0.504 ± 0.050	adjusted
r_1/a (mean)	0.261 ± 0.008	0.263 ± 0.008	0.266 ± 0.008	0.269 ± 0.008	0.262 ± 0.008	computed
r_2/a (mean)	0.186 ± 0.006	0.197 ± 0.006	0.193 ± 0.006	0.184 ± 0.006	0.181 ± 0.006	computed
$T_1(K)$	17000	17000	17000	17000	17000	adopted
$T_2(K)$	33200 ± 800	32800 ± 800	32600 ± 800	32900 ± 800	33000 ± 800	adjusted
$L_1/(L_1 + L_2)$	0.393	0.381	0.398	0.413	0.414	computed
$L_2/(L_1 + L_2)$	0.607	0.619	0.602	0.587	0.586	computed
F_1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	adopted
F_2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	adopted
β_1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	adopted
β_2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	adopted
A_1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	adopted
A_2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	adopted
$\Delta\phi$	0.013 ± 0.003	0.014 ± 0.003	0.012 ± 0.003	0.014 ± 0.003	0.015 ± 0.003	adjusted
χ^2_V	325.4	334.8	327.9	333.5	326.8	computed
$\sum \chi^2_{U,B,V}$	1005	1007	1007	1019	1021	computed

* L_1, L_2 - relative monochromatic luminosities of the stars in V band; μ_1, μ_2 - filling factors

Таблица 3. Абсолютные параметры W Sct при отношениях масс $q=0.3 - 0.4$

Parameters	$q = M_2/M_1$		
	0.30	0.35	0.4
$M_1(M_\odot)$	30.7	20.8	15.0
$M_2(M_\odot)$	9.2	7.3	6.0
$a(R_\odot)$	67.5	60.0	54.93
$R_1(R_\odot)$	17.6	16.2	14.5
$R_2(R_\odot)$	12.6	11.7	10.80
$T_1(K)$	17000	17000	17000
$T_2(K)$	33200	32500	32800
$\log L_1(L_\odot)$	4.36	4.29	4.19
$\log L_2(L_\odot)$	5.25	5.14	5.09
$\log(g_1)$	3.42	3.33	3.28
$\log(g_2)$	3.71	3.61	3.54

Таблица 2. Массы компонентов для различных q при $f_1(m)=0.468$ Мо и $i=81^\circ$

Masses	$q = M_2/M_1$									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$M_1(M_\odot)$	593.0	88.2	30.7	15.0	8.8	5.8	4.1	3.1	2.4	1.9
$M_2(M_\odot)$	59.3	17.6	9.2	6.0	4.4	3.5	2.9	2.5	2.2	1.9

Литература

- Антохина (Antokhina E.A.) // 1988, Sov. Astron., v.32, p.608.
 Антохина (Antokhina E.A.) // 1996, Astronomy Reports, v.40, p.483.
 Антохина и Черепашук // 1988, Письма в Астрон. Журнал, т.14, p. 252.
 Вакка и др. (Vacca W.D., Garmany C.D., Shull J.M.) // 1996, Astrophys. J., v.460, p.914.
 Кордильевский (Kordilewski K.) // 1931, Acta Astronomica, v.1, p.164
 Кумсиашвили и др. (Kumsiashvili M.I., Chargeishvili K.B., Janiashvili E.B.) // 2014, Astrophysics, v.57, p.248.
 Струве (Struve O.) // 1946, Astrophys. J., v.103, p.76.
 Торрес и др. (Torres G., Andersen J., Giménez A.) // 2010, Astron. Astrophys. Rev., v.18, p.67.
 Грандл и др. (Trundle C., Dufton P.L., Hunter I. et al.) // 2007, Astron. Astrophys., v.471, p.625.
 Хамфрейс и Мак-Элрой (Humphreys R.M., McElroy D.B.) // 1984, Astrophys. J., v.284, p.565.
 Хоффмейстер (Hoffmeister von C.) // 1931, Astron. Nachr., v.214, N 5113, p.1.
 Хохле и др. (Hohle M.M., Neuhauser R., Schutz B.F.) // 2010, Astron. Nachr., v.999, N~88, p.789.