

УДК: 524.338

СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ СИМБИОТИЧЕСКИХ ЗВЕЗД
ПО ВЫЧИСЛЕНИЮ МОДЕЛЕЙ

Л. Э. ЛЕЭДЯРВ

Поступила 10 ноября 1988

Принята к печати 26 апреля 1989

Из сравнения наблюдаемых и вычисленных непрерывных спектров в широком диапазоне длин волн (от 25 Å до 20 см) определены приблизительные физические характеристики компонентов 15 симбиотических звезд. За основу вычислений принята четырехкомпонентная модель симбиотической звезды (красный гигант, горячий компонент, ионизованный газ, пыль). Данные наблюдений собраны из литературы. Результаты для горячих компонентов соответствуют предположению, что симбиотические звезды — довольно старые двойные системы, где нынешний красный гигант — звезда с меньшей начальной массой. В большинстве симбиотических звезд, видимо, имеет место аккреция вещества от красного гиганта на горячий компонент.

1. *Введение.* Симбиотические звезды известны как звезды с пекулярным спектром, где наблюдаются одновременно молекулярные полосы поглощения, характерные для холодных гигантов, и эмиссионные линии высокого возбуждения. Спектр и блеск всех подобных объектов являются переменными. В настоящее время практически все симбиотические звезды принято считать двойными звездами, хотя прямые доказательства двойственности имеются для немногих звезд.

Из компонентов симбиотических звезд наиболее полно изучены холодные гиганты (см., например, работы [1—4]). Природа горячих компонентов менее изучена. Обычно предлагают следующие варианты: 1) горячий субкарлик, 2) аккреционный диск вокруг белого карлика или звезды главной последовательности, 3) радиальная аккреция карликовой звездой из звездного ветра холодного компонента. Горячий компонент ионизует истекаемое из холодного гиганта вещество, образуя излучающую туманность. Кроме того, в некоторых симбиотических системах существует пыль.

В настоящей статье мы сделаем попытку определить основные физические характеристики компонентов симбиотических звезд на основании сравнения вычисленных непрерывных спектров с данными наблюдений. Аналогичную работу для выяснения природы горячего компонента прове-

ли Кеннон и Веббинк [5], вычислив непрерывные спектры симбиотических звезд в интервале $1000 \text{ \AA} - 3.5 \text{ мкм}$. Мы использовали данные наблюдений в более широком диапазоне длин волн: от 25 \AA до 20 см . Наши модели также несколько модифицированы по сравнению с моделями работы [5]. Настоящую статью можно рассматривать как продолжение работы [4], из которой нами заимствованы основные характеристики холодных компонентов симбиотических звезд.

2. *Методика вычислений.* Метод определения свойств компонентов симбиотических звезд состоит в сравнении наблюдаемых и теоретических потоков в непрерывном спектре. За основу принята следующая модель:

1) холодный гигант спектрального класса К или М, в некоторых случаях переменная типа Миры Кита;

2) горячий компонент:

— субкарликовая звезда без аккреции,

— аккреционный диск вокруг белого карлика, субкарлика или звезды главной последовательности;

3) туманность из ионизованного водорода и дважды ионизованного гелия, размер ионизованного объема определяется светимостью горячего компонента;

4) оболочка холодной пыли вокруг звезды-гиганта (не присутствует во всех случаях).

Вычисление и суммирование непрерывных спектров каждого компонента, а также сравнение с наблюдениями проводилось с помощью ЭВМ. Длины волн, при которых вычислялся теоретический спектр, фиксированы; обычно используют 144 точки в диапазоне длин волн от 25 \AA до 20 см , включая важнейшие молекулярные полосы поглощения и границы спектральных серий водорода и гелия. Методика вычислений подробно изложена в работе [6], здесь мы касаемся только некоторых моментов.

Для спектра холодного компонента использованы усредненные наблюдаемые распределения энергии красных гигантов, полученные на магнитной ленте из Института физики АН Литовской ССР. Распределения энергии в диапазоне длин волн от 1.25 до 5 мкм экстраполированы по моделям Цудзи [7], а при больших длинах волн использована формула Планка с эффективной температурой звезды T_{eff} .

При расчетах в качестве горячего компонента может быть выбрана звезда типа субкарлика или аккреционный диск вокруг звезд разных типов. В первом случае использовано, приближение абсолютно черного тела (АЧТ), поскольку показано (см., например, [5]), что это не обуславливает существенной разницы в потоках по сравнению с точными моделями атмосфер.

В большинстве симбиотических звезд, видимо, горячая звезда аккрецирует вещество, выбрасываемое холодным гигантом. В настоящей статье рассматривается аккреционный диск как возможный источник горячего излучения. Непрерывный спектр аккреционного диска вычисляется следуя классической работе Шакуры и Сюняева [8], в предположении, что аккреционный диск является оптически толстым и локально излучает как АЧТ с температурой, зависящей от расстояния до центральной звезды. Пограничный слой между диском и звездой, благодаря его высокой температуре ($\approx 10^6$ K), также может быть рассмотрен как АЧТ.

Распределение энергии в спектре аккреционного диска зависит от многих параметров: от массы и радиуса аккрецирующей звезды, от скорости аккреции, от внешнего радиуса и угла наклона диска к картинной плоскости. Для некоторых звезд часть из этих величин можно найти в литературе, тогда они принимаются в вычислениях как фиксированные. В других случаях обычно фиксируют массу звезды и внешний радиус диска как оказавших наименьшее влияние на форму распределения энергии; основными выходными параметрами являются радиус аккрецирующей звезды и скорость аккреции. Исследование моделей показывает, что наблюдаемые характеристики моделей довольно слабо зависят от угла наклона диска i при $i = 0^\circ \dots 45^\circ$, существенной эта зависимость будет, когда i приближается к 90° . Если значение i для данной звезды неизвестно, принимают $i = 30^\circ$ как некоторое среднее значение, а если в звезде происходят затмения, то выбрано i ближе к 90° .

Горячий компонент ионизует истекаемое из холодного гиганта вещество, создавая условия для возникновения эмиссионных линий. В непрерывном спектре газ излучает благодаря рекомбинациям и свободно-свободным переходам. При меньших электронных плотностях можно рассматривать и двухфотонную эмиссию водорода. Нами предполагается, что туманность является оптически толстой за границей серии Лаймана и оптически тонкой над границей. Тогда поток F_{gas} пропорционален коэффициенту излучения и объему газа. Для свободно-свободных переходов туманность может стать оптически толстой в радиодиапазоне (при $\lambda \sim 0.1$ мм — 10 см). В этом случае используют метод формальной яркостной температуры по Каплану и Пикельнеру [9, стр. 126]. Объем ионизованного газа определяется по теории сферы Стремгрена. Коэффициенты излучения вычисляют по формулам из работы [10].

У некоторых симбиотических звезд распределение энергии в инфракрасной области указывает на существование более холодного источника излучения, чем красный гигант. Таким источником, по всей вероятности, является пылевая оболочка вокруг холодной звезды. Доля таких «пылевых» звезд может достигать 20—40% всех симбиотических звезд [11, 12]. Холодный компонент в этих системах обычно позднего спектрального под-

класса ($\geq M4$), зачастую мирид. Температура пыли порядка 800—1000 К, иногда и ≤ 500 К.

В литературе имеются разные модельные вычисления непрерывного спектра пылевых оболочек звезд (например [13, 14]). При этом требуется много физических параметров, значения которых нам неизвестны. Мы не ставили своей целью определить все эти параметры, а в качестве первого приближения приняли предположение, что пылевая оболочка сферическая и излучает как АЧТ. В некоторых случаях лучшее согласие с наблюдениями достигается при предположении существования двух пылевых оболочек.

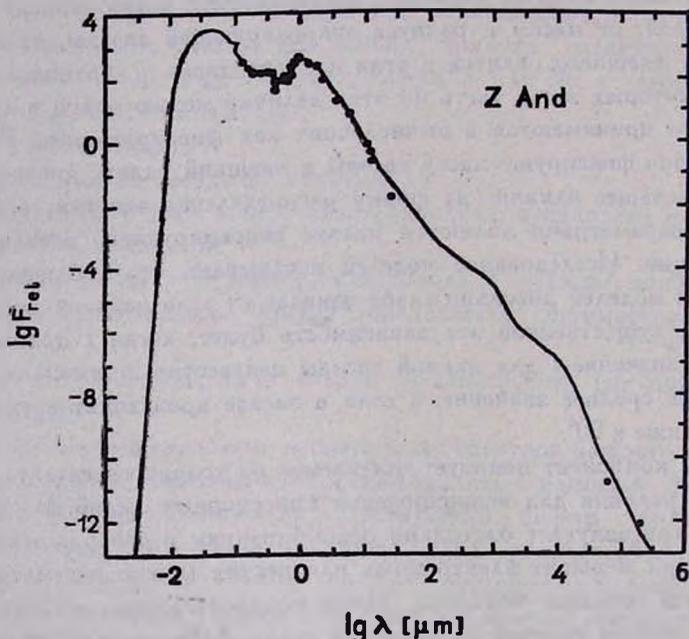


Рис. 1. Распределение энергии в спектре Z And (модель с АЧТ).

Непрерывные спектры компонентов симбиотических звезд суммируют, для сравнения с наблюдениями используют распределения энергии, нормированные к длине волны 5500 А или 1.25 мкм. Наблюдаемое распределение энергии исправляют за межзвездное поглощение, с помощью кривой экстинкции по работам [15, 16]. Значения $E(B-V)$ и расстояний в основном собраны из литературы. С помощью ЭВМ в интерактивном режиме выбирают параметры модели, дающие наилучшее согласие с наблюдениями. Рис. 1 и 2 иллюстрируют согласие теоретических и наблюдаемых потоков для звезд Z And и RR Tel. Используемые литературные источники данных наблюдений приведены в табл. 1.

Основной недостаток описанного метода состоит в том, что затруднен учет переменности звезды, поскольку часто нет одновременных наблюдений

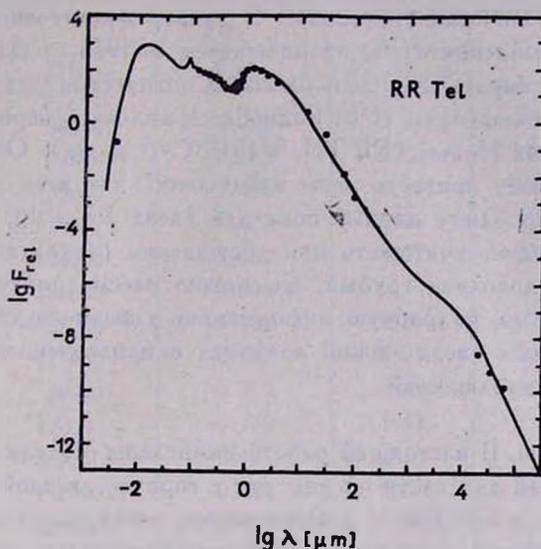


Рис. 2. Распределение энергии в спектре RR Tel (модель с аккреционным диском).

Таблица 1

ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДУЕМЫХ ЗВЕЗД

Звезда	Источники данных наблюдений	$E(B-V)$	d (пк)	Лит.
EG And	[2], [17—20]	0.10	0.34	[4]
AX Per	[2], [21—25]	0.30	2.7	[23]
RX Pup	[20], [26—33]	0.63	1.0	[66]
SY Mus	[12], [28], [34]	0.38	1.0	[4]
RW Hya	[2], [21], [24, 25], [28], [35]	0.01	1.0	[67]
Г CrB	[20—22], [24, 25], [36]	0.12	1.35	[68]
AG Dra	[2], [12], [25], [37—42]	0.06	1.2	[23]
AR Pav	[12], [20, 21], [24], [43, 44]	0.11	3.8	[43]
BF Cyg	[2], [5], [21], [23], [25]	0.33, 0.45	4.2	[23]
CI Cyg	[2], [12], [21, 22], [45, 46]	0.45	1.7	[69]
V 1016 Cyg	[21], [32], [47—52]	0.23	2.2	[47]
RR Tel	[20—21], [29], [31, 32], [52—55]	0.09	2.5	[54]
AG Peg	[12], [21, 22], [24, 25], [28, 29], [31, 32], [56]	0.10	1.0	[70]
Z And	[12], [21, 22], [25], [57—60]	0.31	1.2	[57]
R Aqr	[2], [12], [21], [32], [61—65]	0.13	0.33	[61]

Примечание. Для BF Cyg даны два значения $E(B-V)$ — для моделей с АЧТ и с аккреционным диском, соответственно.

ний во всех спектральных диапазонах. Лучше всего обстоит дело в инфракрасной области — блеск симбиотических звезд там или постоянный, или изменяется периодически (мириды). В ультрафиолетовом диапазоне использованы наблюдения *IUE*, начинавшиеся в 1978 г. Для большинства звезд можно подбирать и оценки блеска в оптическом диапазоне, близкие по времени к наблюдениям *IUE*. Радиоблеск является переменным прежде всего у медленных Новых (RR Tel, V1016 Cyg и др.). Объем настоящей статьи не позволяет привести даты наблюдений для всех звезд. Отметим, что самые неоднородные данные пока для звезд RX Pup, V 1016 Cyg и R Aqr — это следует учитывать при обсуждении результатов. Описанный метод, конечно, довольно грубый, его можно рассматривать как первое приближение. Более подробную информацию о физических характеристиках симбиотических звезд можно получить с привлечением спектральных и других данных наблюдений.

3. Результаты. В настоящей работе вычислены модели 15 симбиотических звезд, причем для части из них как с горячей звездой, так и с аккреционным диском — согласие с наблюдениями почти одинаковое.

Основные нужные для вычислений характеристики холодных компонентов — радиусы и эффективные температуры заимствованы из статьи [4]. В некоторых случаях лучшее согласие между оптическими и инфракрасными наблюдениями достигается при использовании несколько измененных значений этих параметров или при изменении спектрального типа на ± 1 подкласс.

В качестве горячего компонента нами рассмотрены как горячие звезды в приближении АЧТ, так и аккреционные диски. Основные характеристики этих моделей приведены в табл. 2 и 3, соответственно. Для звезд, которые не повторяются в этих таблицах, не удалось получить хорошего согласия с наблюдениями при обоих типах моделей.

Ионизация газа в симбиотической системе рассматривается нами в простом предположении, что ионизованный объем сферический и имеет постоянную электронную плотность и температуру. Эти предположения, по всей вероятности, не совсем соответствуют действительности, но они позволяют определить некоторую среднюю электронную плотность из радионаблюдений, по частоте, при которой туманность становится оптически толстой. По форме континуума за границей серии Бальмера водорода можно с небольшой точностью оценить и электронную температуру, а при возможности значение T_e заимствовано из литературы (используемые значения T_e приведены в табл. 2 и 3). Более подробно свойства газовых туманностей в симбиотических звездах будут рассмотрены в дальнейших работах.

Таблица 2

СВОЙСТВА ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД В ПРИБЛИЖЕНИИ АЧТ

Звезда	АЧТ			T_* (К)	Примечания
	T (К)	R/R_{\odot}	L_{hot}/L_{cold}		
EG And	34000	0.055	0.05	10000	
AX Per	72000	0.213	0.38	16000	
SY Mus	55000	0.144	0.17	12000	
RW Hya	79000	0.078	0.25	15000	
T CrB	74000	0.042	0.07	20000	
	198000	0.006			1
AG Dra	189000	0.037	3.89	25000	
	175000	0.049	5.01	25000	2
BF Cyg	60000	0.300	0.31	10000	
V 1016 Cyg	120000	0.170	1.41	23000	
	286000	0.005			1
RR Tel	110000	0.164	0.57	25000	
	265000	0.004			1
AG Peg	43000	0.394	0.26	20000	
Z And	85000	0.079	0.28	15000	
R Aqr	23000	0.050	0.001	20000	
	307000	0.001			1

Примечания. 1 — Компактный горячий источник для объяснения рентгеновского излучения. 2 — Газовая туманность без He II.

Таблица 3

СВОЙСТВА АККРЕЦИРУЮЩИХ ЗВЕЗД

Звезда	Аккрецирующая звезда					L_{acc}/L_{cold}	i	T_* (К)
	M/M_{\odot}	R/R_{\odot}	$M(M_{\odot}/год)$	T_{BL} (К)	T_{max}^d (К)			
AX Per	0.8	0.085	1.2(-6)	2.30(5)	4.64(4)	0.12	30°	10000
RX Pup	1.0	0.009	5.0(-7)	1.05(6)	2.12(5)	0.50	20°	10000
SY Mus	0.8	0.16	5.0(-6)	2.04(5)	4.12(4)	0.76	85°	12000
T CrB	1.4	0.9	1.1(-6)	4.40(4)	8.89(3)	0.04	30°	17000
AR Pav	0.8	0.36	4.8(-6)	1.10(5)	2.22(4)	0.25	80°	12000
или	1.0	0.95	1.5(-5)	7.48(4)	1.51(4)	0.37	80°	12000
BF Cyg	0.9	0.080	4.0(-6)	3.35(5)	6.76(4)	0.42	30°	10000
CI Cyg	3.4	3.0	1.2(-4)	7.21(4)	1.45(4)	1.51	80°	14000
RR Tel	0.8	0.15	6.0(-6)	2.25(5)	4.53(4)	0.16	30°	17000
Z And	0.8	0.10	4.0(-7)	1.55(5)	3.12(4)	0.10	30°	10000
R Aqr	0.7	0.25	7.0(-8)	4.86(4)	9.82(3)	0.001	65°	18000

Анализ пылевых оболочек в данной статье довольно грубый. Нам кажется, что в приближении АЧТ можно получить оценку температуры пыли, а радиусы определяются менее достоверно, поскольку вследствие близости горячей звезды существование сферических пылевых оболочек таких размеров может оказаться невозможным (табл. 4). Предположение о существовании двух пылевых оболочек необходимо для получения лучшего согласия вычисленных потоков с наблюдениями, фактически же возможно существование одной оптически тонкой оболочки с большим градиентом температуры.

Таблица 4

ТЕМПЕРАТУРЫ И РАДИУСЫ ПЫЛЕВЫХ ОБОЛОЧЕК В ПРИБЛИЖЕНИИ АЧТ

Звезда	T_I (К)	R_I (см)	T_{II} (К)	R_{II} (см)	Sp(гол. комп.)
RX Pup	800	2.0(14)	120	1.02(15)	M5
V1016 Cyg	750	4.1(14)	190	2.1(15)	M4
RR Tel	1000	1.87(14)	150	1.1(15)	M5
R Aqr	800	2.6(14)	90	8.3(14)	M7

Следует отметить, что достоверность полученных результатов зависит прежде всего от однородности данных наблюдений. Исследование моделей путем изучения влияния одного параметра на поведение непрерывного спектра показало, что, например, эффективную температуру горячей звезды T_{eff} можно определить с точностью ~ 5000 К (в зависимости от значения T_{eff} это изменяет значение $\lg L_{hot}/L_{\odot}$ на 0.08...0.23), ошибки в радиусах горячих звезд порядка 0.02...0.05 R_{\odot} . В аккреционных моделях наиболее чувствительными параметрами являются радиус аккрецирующей звезды и скорость аккреции. Вычисления дают оценки точности этих величин порядка 20%. Следует иметь в виду, что такие оценки точности характеризуют формальную, математическую сторону дела, несоответствующие действительности физические предположения могут причинять более существенные ошибки. Наши результаты качественно согласуются с доступными в литературе данными. Наилучшими примерами могут служить Z And [71], RW Hya [35], RX Pup [30] (с другой стороны наша модель для RX Pup подходит только к началу 1980-х годов). Подробное обсуждение точности результатов и сравнение их с другими определениями для каждой звезды не войдет в настоящую статью.

4. *Обсуждение.* Симбиотические звезды представляют интерес прежде всего с эволюционной точки зрения — какое место принадлежит им в общей схеме эволюции звезд, из каких звезд они образовались, во что эво-

люционируют? Исчерпывающих ответов на эти вопросы нет, но существуют некоторые общие соображения, исходя из которых можно обсуждать и наши результаты.

Большинство симбиотических звезд, по всей вероятности, довольно старые двойные системы, в которых звезда с меньшей начальной массой является красным гигантом, а звезда с большей начальной массой в более поздней стадии эволюции: центральная звезда планетарной туманности (ПТ), субкарлик или белый карлик. Возможно и существование симбиотических звезд другого типа, где звезда с большей начальной массой — красный гигант, а другая звезда еще на главной последовательности и аккрецирует вещество, выбрасываемое красным гигантом (например, CI Cyg).

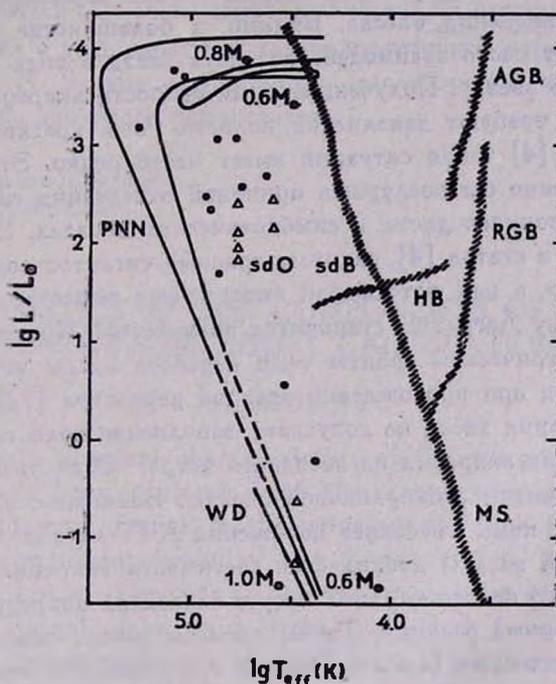


Рис. 3. Положение горячих компонентов симбиотических звезд на диаграмме Герцшпрунга—Рассела. Точками отмечены горячие звезды в приближении АЧТ, треугольниками — аккрецирующие звезды. Нанесены эволюционные треки для звезд с массами выродившегося ядра 0.6 и $0.8 M_{\odot}$.

Положение холодных компонентов симбиотических звезд на диаграмме Герцшпрунга—Рассела (Г—Р) изучено в работе [4]. Здесь мы рассмотрим горячие компоненты. Рис. 3 иллюстрирует положение на диаграмме Г—Р АЧТ из табл. 2. Как видно, большинство из них попадают в область центральных звезд ПТ и субкарликов типа О. По нанесенным эволюцион-

ным трекам, видимо, нельзя оценить массы горячих звезд, однако немногочисленные динамические определения указывают на более высокие значения. Но если предположить, что массы горячих звезд порядка $0.6-1.0 M_{\odot}$, то горячие звезды занимают на диаграмме Г—Р слишком высокое положение по сравнению с ожидаемым по их эффективной температуре. Судя по значениям радиусов, аккрецирующие звезды принадлежат к субкарликам и белым карликам, за исключением CI Cyg . Их приблизительное положение на диаграмме Г—Р также показано на рис. 3.

Возвращаясь к вопросу о природе горячего компонента, следует сказать, что горячая звезда типа центральной звезды ПТ может ионизовать окружающую туманность в мере, нужной для образования симбиотического спектра. Но с помощью такой модели трудно объяснить наблюдаемые нерегулярные изменения блеска. Видимо, в большинстве из симбиотических звезд имеет место взаимодействие двух звезд в виде аккреции вещества на горячую звезду. Полученные нами скорости аккреции (табл. 3) во многих случаях требуют заполнения полости Роша красным гигантом, но по результатам [4] такая ситуация имеет место редко. Это противоречие все-таки не должно бы послужить причиной отвергания гипотезы существования аккреционного диска в симбиотических звездах. Если учитывать, что полученные в статье [4] радиусы красных гигантов соответствуют радиусам фотосфер, а над фотосферой имеется еще вещество, то перетечение массы через точку Лагранжа становится возможным. Кроме того в предположении эксцентрической орбиты темп переноса массы может значительно увеличиваться при прохождении звездой периастра [72].

Если сепарация звезд не допускает заполнения полости Роша, то возможна радиальная аккреция из звездного ветра. Это увеличивает светимость и время жизни субкарликовой звезды. Возможно, этим и объясняются полученные нами «высокие» положения АЧТ на диаграмме Г—Р — к светимости самой звезды добавляется светимость аккреции. На поверхности вырожденного белого карлика могут, благодаря аккреции, снова начинаться термоядерные реакции. Таким образом можно объяснить вспышки повторных и медленных Новых, которые тоже принято считать принадлежащими к симбиотическим звездам. Довольно интенсивное рентгеновское излучение некоторых звезд ($V1016 \text{ Cyg}$, RR Tel , R Aqg) тоже может быть обусловлено термоядерными реакциями.

5. **Заключение.** В данной работе получены следующие основные результаты:

1. Выработан комплекс программ для вычисления непрерывного спектра симбиотических звезд и сравнения его с наблюдениями.
2. С привлечением данных наблюдений из литературы, построены приблизительные физические модели для 15 симбиотических звезд.

3. Положение горячих компонентов на диаграмме Г—Р соответствует предположению, что большинство симбиотических звезд—старые двойные системы, где нынешний красный гигант— звезда с меньшей начальной массой.

4. Приведены аргументы в пользу предположения, что в большинстве симбиотических звезд имеет место аккреция—как в виде дисковой, так и сферически-симметричной аккреции.

Наконец отметим, что хотя симбиотические звезды в последние годы интенсивно исследовались, осталось еще много нерешенных проблем. Эти звезды заслуживают дальнейшего всестороннего изучения, поскольку в них имеют место многие интересные явления.

Автор выражает глубокую признательность [Л. Лууду] за ценные советы и обсуждения в ходе работы, а также анонимному рецензенту за полезные замечания. Х. Венник и А. Линнас заслуживают благодарность за большую помощь при оформлении статьи.

Институт астрофизики и физики
атмосферы АН Эст.ССР

CHARACTERISTICS OF THE COMPONENTS OF SYMBIOTIC STARS FROM MODEL CALCULATIONS

L. LEEDJÄRV

Approximate physical characteristics of the components of 15 symbiotic stars have been derived from the comparison of observed and calculated continuous spectra in the wavelength range from 25 Å to 20 cm. The four-component model of the symbiotic star has been applied (a red giant, a hot component, an ionized gaseous nebula, a dust envelope). Observational data have been collected from literature. The results for hot components are in accordance with the assumption that symbiotic stars are quite old binary systems, where the originally less massive star has become a red giant. It is likely that in most of the symbiotic stars accretion of matter from the red giant to the hot component is taking place.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. A. Allen, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 192, 521, 1980.
2. S. J. Kenyon, J. S. Gallagher, Astron. J., 88, 666, 1983.
3. S. J. Kenyon, T. Fernandez-Castro, Astron. J., 93, 938, 1987.
4. Л. С. Лууд, Л. Э. Леджарв, Астрофизика, 24, 265, 1986.

5. S. J. Kenyon, R. F. Webbink, *Astrophys. J.*, 279, 252, 1984.
6. L. Leedjärv, *ENSV TA Prepr.*, A-7, 1988.
7. T. Taujt, *Astron. and Astrophys.*, 62, 29, 1978.
8. N. I. Shakura, R. A. Sunyaev, *Astron. and Astrophys.*, 24, 337, 1973.
9. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, *Физика межзвездной среды*, Наука, М., 1979.
10. L. R. Brown, W. G. Mathews, *Astrophys. J.*, 160, 939, 1970.
11. D. A. Allen, *Proc. Astron. Soc. Australia*, 5, 369, 1984.
12. А. С. Луца, Т. А. Тувикене, *Астрофизика*, 26, 457, 1987.
13. R. J. Sopka, R. Hildebrand, D. T. Jaffe, I. Gatley, T. Roellig, M. Wernes, M. Jura, B. Zuckerman, *Astrophys. J.*, 294, 242, 1985.
14. W. K. Rose, *Astrophys. J.*, 312, 284, 1987.
15. A. Sapar, I. Kausik, *Tartu Astrofüüs. Observ. Publ.*, 46, 71, 1978.
16. L. Luud, *Tartu Astrofüüs. Observ. Publ.*, 46, 55, 1978.
17. R. E. Stencel, *Astrophys. J.*, 281, L75, 1984.
18. J. B. Kaler, J. P. Hickley, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 95, 759, 1983.
19. J. P. Swings, D. A. Allen, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 84, 523, 1972.
20. S. J. Kenyon, F. Fernandez-Castro, R. E. Stencel, *Astron. J.*, 92, 1118, 1986.
21. J. Sahade, E. Brandt, J. M. Fontenla, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 56, 17, 1984.
22. W. P. Blatz, R. E. Stencel, W. A. Feibelman, A. G. Michalitsianos, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 53, 573, 1983.
23. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Астрон. ж.*, 59, 92, 1982.
24. D. A. Allen, *IAU Colloq.*, No. 70, *The Nature of Symbiotic Stars*, eds. M. Friedjung, R. Viotti, D. Reidel, Dordrecht, 1982, p. 27.
25. E. R. Seaquist, A. R. Taylor, S. Butten, *Astrophys. J.*, 284, 202, 1984.
26. P. A. Whitelock, R. M. Catchpole, M. W. Feast, G. Roberts, B. S. Carter, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 203, 363, 1983.
27. M. Kafatos, A. G. Michalitsianos, W. A. Feibelman, *Astrophys. J.*, 257, 204, 1982.
28. M. W. Feast, B. S. C. Robertson, R. M. Catchpole, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 179, 499, 1977.
29. P. F. Roche, D. A. Allen, D. K. Atken, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 204, 1009, 1983.
30. E. R. Seaquist, A. R. Taylor, *Astrophys. J.*, 312, 813, 1987.
31. A. E. Wright, D. A. Allen, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 184, 893, 1978.
32. C. R. Purton, P. A. Feldman, K. A. Marsh, D. A. Allen, A. E. Wright, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 198, 321, 1982.
33. J. M. Hollis, R. J. Oltversen, M. Kafatos, A. G. Michalitsianos, *Astrophys. J.*, 301, 877, 1986.
34. A. G. Michalitsianos, M. Kafatos, W. A. Feibelman, R. W. Hobbs, *Astrophys. J.*, 253, 735, 1982.
35. S. J. Kenyon, T. Fernandez-Castro, *Astrophys. J.*, 316, 427, 1987.
36. F. A. Cordova, K. O. Mason, J. E. Nelson, *Astrophys. J.*, 245, 609, 1981.
37. R. Viotti, O. Rucciardi, D. Ponz, A. Giangrande, M. Friedjung, A. Cassatella, G. B. Baratta, A. Altamore, *Astron. and Astrophys.*, 119, 285, 1983.
38. M. T. Martel, R. Gravina, *Inf. Bull. Var. Stars*, No. 2750, 1985.
39. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Письма в Астроф. ж.*, 9, 36, 1983.
40. N. L. Cohen, F. D. Ghtgo, *Astron. J.*, 85, 451, 1980.

41. C. M. Anderson, J. P. Cassinelli, W. T. Sanders, *Astrophys. J.*, 247, L127, 1981.
42. L. Piro, A. Cassatella, L. Spinnoglio, R. Viotti, A. Altamore, *IAU Circ. No.* 4082, 1985.
43. J. W. Menzies, I. M. Coulson, J. A. R. Caldwell, P. M. Corben, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 200, 463, 1982.
44. M. H. Slovak, *IAU Colloq. No. 70. The Nature of Symbiotic Stars*, eds. M. Friedjung, R. Viotti, D. Reidel, Dordrecht, 1982, p. 195.
45. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Астрон. ж.*, 58, 1051, 1981.
46. T. Itjima, *Astron. and Astrophys.*, 116, 210, 1982.
47. H. Nussbaumer, H. Schild, *Astron. and Astrophys.*, 101, 118, 1981.
48. Б. Ф. Юдин, *Астрон. ж.*, 59, 307, 1982.
49. А. П. Ипатов, Б. Ф. Юдин, *Письма в Астрон. ж.*, 7, 432, 1981.
50. P. M. Harvey, *Astrophys. J.*, 188, 95, 1974.
51. T. Simon, *Astron. J.*, 79, 1054, 1974.
52. D. A. Allen, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 197, 739, 1981.
53. M. W. Feast, P. A. Whitelock, R. M. Catchpole, G. Roberts, B. S. Carter, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 202, 951, 1983.
54. M. V. Penston, P. Benvenuti, A. Cassatella, A. Heck, P. Selvelli, F. Macchetto, D. Ponz, C. Jordan, N. Cramer, F. Rufener, J. Manfroid, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 202, 833, 1983.
55. E. R. Seaquist, *Astrophys. J.*, 211, 547, 1977.
56. M. H. Slovak, D. L. Lambert, *IAU Colloq. No. 70. The Nature of Symbiotic Stars*, eds. M. Friedjung, R. Viotti, D. Reidel, Dordrecht, 1982, p. 103.
57. A. Altamore, G. B. Baratta, A. Cassatella, M. Ertadjung, A. Giangrande, O. Ricciardi, R. Viotti, *Astrophys. J.*, 245, 630, 1981.
58. P. Szkody, *Astrophys. J.*, 217, 140, 1977.
59. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Астрон. ж.*, 58, 1249, 1981.
60. N. J. Woolf, *Astrophys. J.*, 185, 229, 1973.
61. P. A. Whitelock, M. W. Feast, R. M. Catchpole, B. S. Carter, G. Roberts, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 203, 351, 1983.
62. R. Viotti, L. Piro, M. Friedjung, A. Cassatella, *Astrophys. J.*, 319, L7, 1987.
63. H. M. Johnson, *Astrophys. J.*, 237, 840, 1980.
64. B. G. Anandarao, S. R. Pottasch, *Astron. and Astrophys.*, 162, 167, 1986.
65. J. M. Hollis, M. Kafatos, A. G. Michalitsianos, H. A. McAlister, *Astrophys. J.*, 289, 765, 1985.
66. M. Klutz, O. Simonetto, J. P. Swings, *Astron. and Astrophys.*, 66, 283, 1978.
67. M. Kafatos, A. G. Michalitsianos, R. W. Hobbs, *Astrophys. J.*, 240, 114, 1980.
68. M. Plavec, *IAU Colloq. No. 70. The Nature of Symbiotic Stars*, eds. M. Friedjung, R. Viotti, D. Reidel, Dordrecht, 1982, p. 231.
69. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Письма в Астрон. ж.*, 9, 618, 1983.
70. А. П. Ипатов, Б. Ф. Юдин, *Письма в Астрон. ж.*, 12, 936, 1986.
71. T. Fernandez-Castro, A. Cassatella, A. Gimenez, R. Viotti, *Astrophys. J.*, 324, 1016, 1988.
72. J. C. Brown, C. B. Boyle, *Astron. and Astrophys.*, 141, 369, 1984.