

УДК: 524.338.3

СВОЙСТВА ХОЛОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ СИМБИОТИЧЕСКИХ ЗВЕЗД

Л. ЛУУД, Л. ЛЕЭДЯРВ
Поступила 17 октября 1985

Методом Блэквелла—Шаллиса по данным инфракрасной фотометрии определены основные физические параметры холодных компонентов симбиотических звезд и красных гигантов сравнения. Найдено, что холодные компоненты симбиотических звезд не отличаются от нормальных красных гигантов асимптотической ветви. Массы холодных компонентов симбиотических звезд близки к $3 M_{\odot}$. Красные компоненты симбиотических звезд не заполняют их полости Роша. Среди холодных компонентов симбиотических звезд примерно в 10 раз больше углеродных звезд, чем среди красных гигантов в окрестностях Солнца.

1. *Введение.* Симбиотические звезды являются весьма интересным классом звезд, спектры которых имеют признаки холодных гигантов и разного типа горячих источников излучения. В спектрах симбиотических звезд наблюдаются одновременно молекулярные полосы поглощения (в основном TiO) и яркие эмиссионные линии. Распределение энергии почти во всех случаях можно представить суммой излучения четырех составляющих: холодного гиганта, горячей звезды, газа и пыли. Спектр и яркость почти всех объектов являются переменными. Симбиотические звезды обычно считают двойными, однако некоторые авторы пытаются объяснить симбиотический спектр и процессами в одной пекулярной звезде. По лучевым скоростям или по фотометрическим данным установлена двойственность примерно 10 симбиотических звезд, и, по всей вероятности, все симбиотические звезды нужно считать двойными.

Настоящей статьей мы начинаем серию публикаций, посвященных общим свойствам симбиотических звезд. Мы принимаем рабочую гипотезу, что все симбиотические звезды состоят из красного гиганта и горячего компонента, которым может быть вырожденный ОС-карлик, горячий субкарлик или звезда около главной последовательности. Газ и пыль в системе существуют вследствие истечения вещества из одной звезды, в большинстве случаев холодной. В нашей трактовке симбиотические звезды по-

являются на некотором этапе развития пар звезд с начальными массами менее $8 M_{\odot}$ и с подходящим расстоянием компонентов. И так к симбиотическим звездам относятся и повторные новые (например, Т СгВ и RR Tel), холодные компоненты которых являются красными гигантами. Отметим, что такую же модель симбиотических звезд приняли Кенион и Веббинк [1] при исследовании их спектра в области длин волн от 0.1 до 3.5 мкм методом синтетического спектра. Указанным авторам удалось получить феноменологические модели 17 объектов из 20 исследованных.

Из компонентов симбиотических звезд наиболее стабильны красные гиганты, хотя и среди них наблюдаются полуправильные переменные и мириды. Холодные компоненты симбиотических звезд и повторных новых исследованы Алленом [2], который пришел к выводу, что они являются нормальными М-гигантами и миридами. В данном исследовании мы имеем другой подход и в основном касаемся вопросов, не затронутых Алленом.

Начнем с рассмотрения основных характеристик холодных компонентов симбиотических звезд, поскольку они имеют наибольшую стабильность среди компонентов симбиотических звезд и почти все симбиотические звезды в спектральном диапазоне от 0.7 до 2.2 мкм имеют спектры холодных гигантов, незначительно искаженные излучением других составляющих. При этом мы допускаем, что все холодные компоненты (а также нормальные красные гиганты, которые исследованы для сравнения) имеют атмосферы, излучение которых описывается моделями Цудзи [3].

2. *Определение основных физических параметров холодных компонентов методом Блэквелла—Шаллиса.* В настоящее время имеется основание сомневаться в целесообразности применения абсолютных средних звездных величин и других средних характеристик красных гигантов при анализе конкретных объектов. Причина этого — внутренняя дисперсия названных величин. Эволюционные треки красных гигантов расположены на диаграмме Герцшпрунга—Рессела почти вертикально и это, естественно, допускает очень большой диапазон светимостей при одинаковой температуре. Поэтому мы применяем самостоятельные определения, опирающиеся на наблюдения инфракрасных потоков и на модели Цудзи [3].

Метод Блэквелла—Шаллиса [4] позволяет, если известны наблюдаемый и излучаемый потоки, а также расстояние до звезды, по нижеприводимым формулам найти нужные параметры:

$$\theta = 2 \sqrt{F_{E,\lambda} / F_{S,\lambda}},$$

$$R = d \sqrt{F_{E,\lambda} / F_{S,\lambda}},$$

$$L = 4\pi d^2 \int_0^{\infty} F_{E,\lambda} d\lambda = 4\pi d^2 F_E$$

ли

$$T_{\text{эфф.}} = \sqrt[4]{\frac{F_E}{\sigma \theta^2}}$$

где θ — угловой диаметр звезды, F_E и $F_{E,\lambda}$ — соответственно полный и монохроматический потоки излучения звезды у Земли, $F_{S,\lambda}$ — монохроматический поток излучения у поверхности звезды, R — радиус звезды, d — расстояние до звезды; остальные обозначения общепринятые.

Входящие в вышеприведенные формулы величины известны для многих симбиотических звезд. Метод нахождения потока F_E требует некоторого объяснения. Потоки на эффективных длинах волн системы *JHKL* (и иногда *M*) были вычислены по фотометрическим данным, а экстраполяция распределения энергии для остальных длин волн была проведена согласно моделям Цудзи. Потоки в полосах *UBV* сильно искажены излучением горячего компонента; в полосах *R* и *I* (хотя и здесь искажения существенны) очень мало наблюдений и поэтому эти фотометрические полосы не использовались. Пример такого определения потока показан на рис. 1.

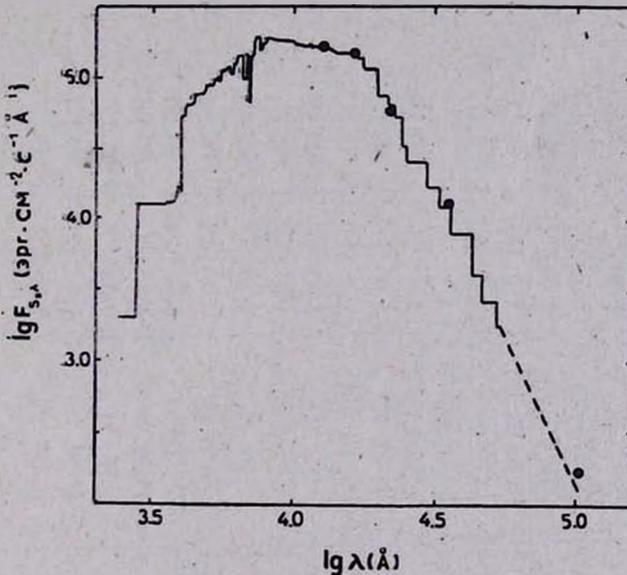


Рис. 1. Распределение энергии в спектре AG Peg, аппроксимированное моделью Цудзи (G1/3600/0.5/3).

В табл. 1 приведены использованные нами данные с указанием литературного источника, а также определенные нами значения отмеченных

Объект	Источники ИК-фотометрии	d (кпк)	Sp
1	2	3	4
EG And	[5—7]	0.34	M2 [5]
AX Per	[5, 7—9]	2.7 [9]	M5 [5]
UV Aur	[5, 7, 10]	1.35 [11]	N [5]
RX Pup (max)	[5, 6, 12, 13]	1.0 [14]	M5 [5]
(med)			
(min)			
SY Mus	[5, 12]	1.0	M2 [5]
RW Hya	[5—7, 12]	1.0 [17]	M2 [5]
TX CVn	[7, 15, 16]	1.1 [15]	K5 [15]
T CrB	[5, 7]	1.35 [17]	M3 [5]
AG Dra	[5, 7, 9, 19]	1.2 [9]	K3 [9]
RS Oph	[5—8]	1.3	M0 [5]
AS 296	[5, 7, 20]	2.2 [20]	M5 [5]
AR Pav	[5]	3.8 [21]	M3 [5]
BF Cyg	[5—9, 19]	4.2 [9]	M5 [5]
CH Cyg	[5—9]	0.33 [29]	M6 [5]
CI Cyg	[5—8, 19]	1.6 [19]	M5 [5]
RR Tel (max)	[5, 12, 23]	3.6 [23]	M5 [5]
(med)			
(min)			
PU Vul	[24, 25]	5.1 [25]	M5 [25]

Таблица 1

R/R_{\odot}	$\lg L/L_{\odot}$	$T_{\text{эфф.}} \text{ (K)}$	$M (M_{\odot}/\text{год})$	M_V	Примечания
5	6	7	8	9	10
58	2.89	4004	$3.0 \cdot 10^{-8}$	-0.96	1
153	3.46	3432	$3.4 \cdot 10^{-7}$	-0.68	2
338	4.13	3395	$2.1 \cdot 10^{-6}$	-1.40	3
282	3.76	3004		-1.43	
210	3.54	2882	$2.9 \cdot 10^{-7}$	-0.88	
138	3.03	2759		0.35	
76	3.01	3745	$3.0 \cdot 10^{-8}$	-1.25	1
70	2.93	3726	$2.7 \cdot 10^{-8}$	-1.6	
32	2.37	3967	$7.4 \cdot 10^{-9}$	-0.03	2
90	3.12	3656	$5.9 \cdot 10^{-9}$	-1.17	
38	2.60	4192	$9.1 \cdot 10^{-9}$	-1.09	
41	2.51	3849	$9.1 \cdot 10^{-9}$	-0.32	1
202	3.69	3404	$4.3 \cdot 10^{-7}$	-1.26	2
94	3.12	3696	$5.6 \cdot 10^{-8}$	-1.17	
168	3.53	3399	$3.5 \cdot 10^{-7}$	-0.86	
384	3.94	2865	$6.0 \cdot 10^{-7}$	-0.93	
153	3.45	3406	$3.3 \cdot 10^{-7}$	-0.66	
490	4.30	3100		-2.78	
404	4.11	2961	$5.7 \cdot 10^{-7}$	-2.30	
318	3.76	2822		-1.43	
226	3.79	3399	$8.3 \cdot 10^{-8}$	-1.50	4

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V 1329 Cyg	[5]	4.8	M4 [5]	141	3.38	3404	$1.3 \cdot 10^{-7}$	-1.21	2
AG Peg	[5-8, 12]	0.5 [18]	M3 [5]	54	2.65	3623	$3.3 \cdot 10^{-8}$	-0.92	
Z And	[5-8, 10, 19, 26, 27]	1.2 [27]	M2 [5]	77	3.02	3751	$3.0 \cdot 10^{-8}$	-1.28	
R Aqr (max)	[5, 7, 28]	0.33 [28]	M7 [5]	480	4.15	2884		-0.62:	
(med)				415	3.99	2768	$2.3 \cdot 10^{-6}$	-0.22:	
(min)				350	3.73	2651		0.42:	
o Cet	[29]	0.077 [30]	M6 [29]	274	3.69	2956		-0.31	
				217	3.52	2813	$5.4 \cdot 10^{-7}$	+0.12	
				159	3.27	2670		+0.84	

Примечания.

1. Расстояние определено с использованием значения $E(B-V)$ и межзвездного поглощения по Шарову [34].
2. Расстояние определено при предположении, что поток излучения на 2.2 мкм соответствует модели Цудан.
3. Углеродная звезда, определения по моделям Цудан весьма грубые.
4. Используются фотометрические данные в минимуме блеска.

выше параметров. Там же приведены и абсолютные визуальные звездные величины, вычисленные по формуле

$$M_V = -2.5 \lg L/L_{\odot} + 4.75 - B. C.,$$

где *B. C.* — болометрическая поправка. В расчетах *B. C.* использовалась согласно [31]. Не обнаружено четкой корреляции между M_V и спектральным классом. В среднем M_V для красных компонентов симбиотических звезд -1.00 ± 0.51 . Этот результат сравним со значениями M_V для красных гигантов по Миками и Хек [32].

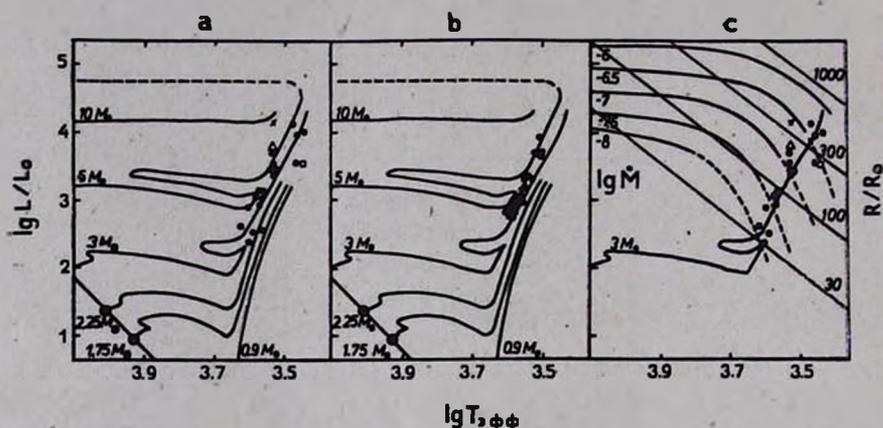


Рис. 2. а — Диаграмма Герцшпрунга—Рессела для холодных компонентов симбиотических звезд; б — то же для нормальных гигантов; в — диаграмма Герцшпрунга—Рессела с холодными компонентами симбиотических звезд с указанием радиусов и потерей массы. X — углеродная звезда UV Aur; Δ — PU Vul и \square — o Cet.

На рис. 2а показаны положения красных компонентов симбиотических звезд на диаграмме Герцшпрунга—Рессела. Теоретические эволюционные треки даны по работе Ибена и Тутукова [33].

По мнению авторов данной статьи, из исходных данных с наименьшей точностью определены расстояния. По возможности всегда использовались расстояния, полученные специально для данного объекта. Если были доступны величины избытка цвета $E(B-V)$, использовались таблицы Шарова о распределении поглощающего вещества [34]. При наличии лишь фотометрических данных считалось, что при $\lambda = 2.2$ мкм звезда излучает согласно модели Цудзи и межзвездное поглощение на этой длине волны нулевое. Поскольку согласно средней зависимости межзвездного поглощения от длины волны по [35] $\Delta K = 0.26 E(B-V)$, ошибка в расстоянии может в некоторых случаях достигать 20%.

С целью проверки нашей методики, на основе однородного фотометрического материала, нами было проведено такое же исследование группы

красных гигантов из каталога Пехка и Тувикене [36]. В данном случае было проведено и сравнение расстояний по тригонометрическим параллаксам и по моделям Цудзи. Выяснилось, что по моделям Цудзи расстояния получаются в среднем в 2 раза большими, однако в некоторых случаях тригонометрические расстояния даже в 10 раз больше фотометрических. Видимо, тригонометрические параллаксы красных гигантов при больших расстояниях неточны, и мы пользовались величинами, полученными по данным инфракрасной фотометрии. Однако расстояния симбиотических звезд изучены более тщательно с учетом индивидуальностей объекта, поэтому мы имеем основание считать, что они определены довольно точно. По всей вероятности, расстояния можно будет определить с нужной точностью только после полета спутника ГИППАРХ. Но и тогда открытым останется вопрос о величине и природе $E(B-V)$.

Из рис. 2а следует, что все изученные красные компоненты симбиотических звезд находятся на асимптотической ветви красных гигантов, где у звезды уже возникло СО-ядро. Отметим, что такие звезды по спектроскопическим критериям должны быть сверхгигантами II класса светимости и желательно провести тщательный пересмотр спектральной классификации холодных компонентов симбиотических звезд на основе однородного спектрального материала. Однако нужно отметить, что задача очень сложная из-за вуалирования M -спектра излучением других компонентов. Положения холодных гигантов компонентов симбиотических звезд образуют зону, совпадающую с зоной положений треков красных гигантов больших масс ($8 M_{\odot} > M_{\text{симб.}} > 2 M_{\odot}$). Однако эти треки смещаются по абсциссам в зависимости от принятых в расчетах параметров (длина пути перемешивания и химический состав) и поэтому не могут быть применены для определения масс.

Для иллюстрации на рис. 2b показаны положения на диаграмме Герцшпрунга—Рессела звезд сравнения, обладающих такими же свойствами.

Методом Блэквелла—Шаллиса получены также радиусы симбиотических звезд, которые тоже приведены в табл. 1. По рис. 2с можно заключить, что они находятся в пределах 30—300 R_{\odot} .

Для сравнения светимостей, температур и радиусов холодных компонентов симбиотических звезд с теми же параметрами красных гигантов поля в табл. 2 приведены средние для спектрального класса светимости, радиусы и температуры.

Средние отношения светимостей, температур и радиусов холодных компонентов симбиотических звезд к соответствующим параметрам гигантов поля следующие:

$$\lg L_{\text{симб.}} / \lg L_{\text{гМ}} = 0.98 \pm 0.02,$$

$$T_{\text{симб.}} / T_{\text{гМ}} = 1.00 \pm 0.03,$$

$$R_{\text{симб.}}/R_{\text{гМ}} = 0.96 \pm 0.13.$$

Следовательно, по фундаментальным параметрам, определенным методом Блэквелла—Шаллиса, холодные компоненты симбиотических звезд не отличаются от красных гигантов поля.

Таблица 2

Sp	$\lg L/L_{\odot}$		$T_{\text{эфф.}}$		R/R_{\odot}	
	симбиотические	звезды поля	симбиотические	звезды поля	симбиотические	звезды поля
M0	2.51	2.79	3849	3925	41	54
M1	—	2.85	—	3858	—	60
M2	2.90	2.97	3806	3713	70	74
M3	3.12	3.18	3658	3610	79	100
M4	3.38	3.31	3404	3495	141	141
M5	3.64	3.66	3310	3297	211	209
M6	3.94	3.93	2865	3243	384	295

3. *Динамические массы холодных компонентов симбиотических звезд.* По имеющимся спектроскопическим элементам орбиты определены массы около 10 симбиотических звезд. Из табл. 3 следует, что за исключением одной звезды — V 1329 Cyg — масса холодного компонента находится в пределах 2.5 — 4 M_{\odot} . Такую же массу имеет и холодный компонент \circ Cet. Отметим, что визуальную двойную \circ Cet следует рассматривать как предельный случай симбиотической звезды и эту звезду необходимо всесторонне изучить. Видимо, \circ Cet откроет одну из возможностей детализовать модели симбиотических звезд, особенно процесс аккреции.

Что касается V 1329 Cyg, то тут, видимо, следует более тщательно проанализировать механизм возникновения эмиссионных линий. С большой вероятностью амплитуда кривой лучевых скоростей отражает не орбитальное движение, а его суперпозицию со скоростью струи, в которой формируются эмиссионные линии высокого возбуждения.

4. *Скорости потери массы холодными компонентами симбиотических звезд.* Для разработки моделей симбиотических звезд весьма важно знать скорости потери массы холодными компонентами, поскольку нужно предположить, что потерянное холодной звездой вещество аккрецируется на горячий компонент и таким образом создает явление симбиотических звезд. Мы будем обсуждать лишь среднюю потерю массы холодными компонентами, а не ее аккрецию горячим компонентом.

Потеря массы из наблюдений известна лишь для двух звезд — R Aqr [46—48] и \circ Cet [46, 47]. Полученные значения равны соответ-

ственно $2 \cdot 10^{-7}$ и $10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$. Сравним эти данные с обширным эмпирическим исследованием де Ягера и др. [49], где на основе почти полной компиляции наблюдательных данных найдена интерполяционная формула для определения \dot{M} по L и $T_{\text{эф}}$. Для обеих звезд эта интерполяционная формула дает для \dot{M} несколько завышенные величины. Однако в работе [49] шкала эффективных температур для холодных звезд, видимо,

Таблица 3

Звезда	M/M_{\odot}		Источник
	холодный компонент	горячий компонент	
CH Cyg	2.7	1.4	Лууд и Томов [37]
T CrB	2.9	2.1	Крафт [38]
CI Cyg	2.4	3.4	Иджина [39]
AR Pav	2.5	1.2	Такери и Хачингс [40]
AG Peg	3-4	/	Хачингс и др. [41]
BF Cyg	3	/	Боярчук [42]
RW Hya	3	/	Кафатос и др. [17]
R Aqr	3	/	Матей и Аллен [43]
V 1329 Cyg	25	/	Григар и др. [44]
o Cet	2.5	/	Ферни и Брукер [45]

Примечание. Курсивом даны предвзятые массы горячего компонента.

несколько занижена. Учитывая, что светимости, температуры и радиусы холодных компонентов симбиотических звезд не отличаются от таковых для одиночных звезд, можно и их потери масс считать такими же, как у нормальных звезд. Из рис. 2с, где на диаграмме $\lg L/L_{\odot} - \lg T_{\text{эф}}$ показаны холодные компоненты симбиотических звезд, следует, что потеря массы зависит от спектрального класса и меняется от $\dot{M} \approx 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$ у ранних подклассов M до $\dot{M} \approx 6 \cdot 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$ у поздних подклассов.

Часто для определения скорости потери массы красными гигантами пользуются формулой Реймерса [50]

$$\dot{M} = -4 \cdot 10^{-13} \eta \frac{L}{gR},$$

где η — параметр порядка единицы (в наших расчетах принято $\eta = 1$), а светимость L , эффективное ускорение силы тяжести g и радиус звезды R даны в солнечных единицах. Вычисленные для симбиотических звезд величины \dot{M} приведены в табл. 1 и согласуются с вышеизложенным.

Учитывая, что в симбиотических звездах аккрецируется только доля потерянной красным гигантом массы, этот результат не согласуется с предположением, что для возникновения симбиотических звезд требуется скорость аккреции $\sim 3 \cdot 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$ [51, 52]. Следовательно, механизм образования наблюдаемых в симбиотических звездах явлений требует уточнения, кажется, нужно тщательно проанализировать возникновение сверхветра или возможное аккумуляирование вещества в полости Роша с последующим мощным импульсом перетекания. Не исключено, что в некоторых случаях такой процесс происходит в периастроне сильно эллиптической орбиты.

5. *Сравнение радиусов холодных компонентов симбиотических звезд с радиусами их полостей Роша.* Одной из проблем, связанных с возникновением направленной аккреции в двойных системах, является наполнение полости Роша звезды-донора вещества. Хотя при наличии звездного ветра заполнение полостей Роша отнюдь не является необходимым условием существования перетекания, можно ожидать, что радиус звезды должен равняться примерно половине радиуса полости Роша [53].

Радиусы полостей Роша рассчитывались следующим образом. Сперва по закону Кеплера в круговом приближении были рассчитаны большие полуоси орбит. Они были взяты за расстояния компонентов и с помощью таблиц Плавеца и Кратохвила [60] были определены размеры полости Роша. Конечно, это приближение неточное, но оно позволяет сравнительно хорошо проводить оценки в первом приближении, если различие масс компонентов не очень большое.

Нам известны периоды орбитального движения для ряда симбиотических звезд [38—45, 54—59]. На рис. 3 нанесены точки, представляющие холодные компоненты симбиотических звезд с известными периодами.

Очевидно, что радиусы холодных компонентов всегда меньше радиусов полостей Роша, а во многих случаях приближаются к половине значения последних. Видимо, из этого следует, что нужно исследовать несколько типов аккреционного механизма и что не во всех симбиотических звездах существует дисковая аккреция.

Еще одно свойство симбиотических звезд следует из рис. 3. Не известны симбиотические звезды с периодами между 1000 и 5000 дней. Это, по всей вероятности, результат селекции, поскольку очень трудно обнаружить периоды лучевых скоростей > 1000 дней. Для CN Cyg и R Aqr это удалось лишь благодаря большой яркости и активному поведению этих объектов.

6. *Распределение холодных компонентов симбиотических звезд по спектральным классам.* Распределение холодных компонентов симбиотических звезд по спектральным классам согласно [5] показано на рис. 4.

Основное свойство, следующее из рис. 4 — сильное увеличение количества симбиотических звезд в поздних подклассах М, несмотря на уменьшение

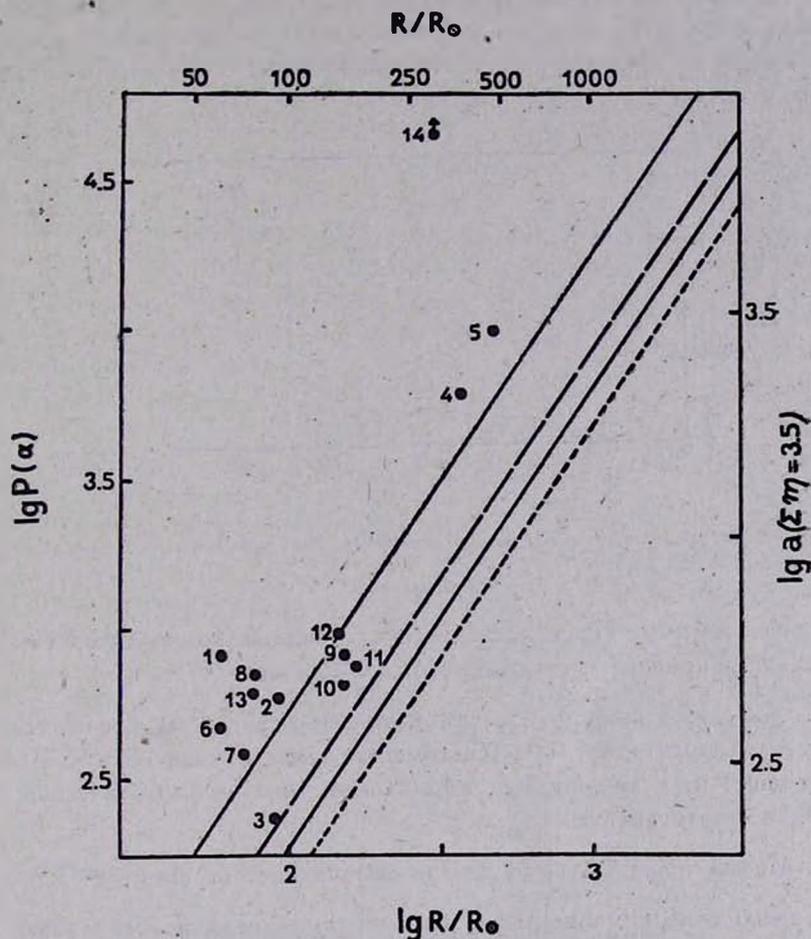


Рис. 3. Сопоставление орбитального периода и радиуса холодных компонентов симбиотических звезд. — радиус полости Роша в случае круговой орбиты при $\Sigma M = 3.5$ и $q = 0.4$; - - - то же при $\Sigma M = 2.5$ и $q = 0.66$; - · - · - то же при $\Sigma M = 5$ и $q = 0.25$; ····· — половина радиуса полости Роша при $\Sigma M = 3.5$ и $q = 0.4$; 1—AG Peg, 2—AR Pav, 3—T CrB, 4—CH Cyg, 5—R Aqr, 6—EG And, 7—RW Hya, 8—Z And, 9—CI Cyg, 10—AX Per, 11—BF Cyg, 12—V 1329 Cyg, 13—SY Mus и 14—s Cet.

общего количества звезд в этих подклассах. Причина этого явления очевидна — с увеличением радиуса и годовой потери массы повышается вероятность перетекания вещества и формирования аккреционного диска.

Среди холодных компонентов симбиотических звезд отношение числа углеродных звезд к числу гигантов спектральных классов M5 и позднее равно величине 0.08, что почти в 10 раз выше, чем это отношение в окрестностях Солнца [61]. Видимо, это объясняется несколько большими потерями массы углеродных звезд, что способствует образованию симбиотического спектра.

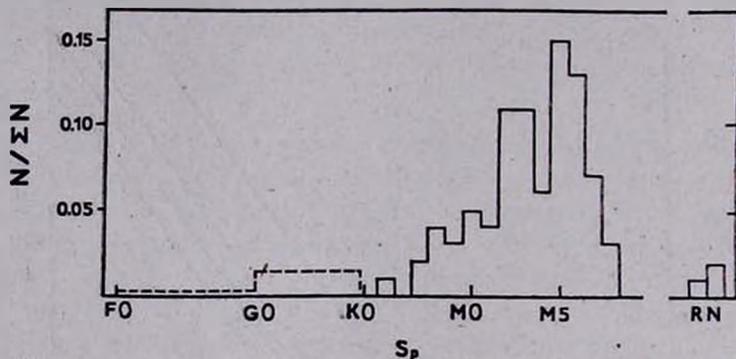


Рис. 4. Распределение холодных компонентов симбиотических звезд по спектральным классам.

7. *Заключение.* Наше исследование холодных компонентов симбиотических звезд привело к следующим основным результатам.

1. Холодные компоненты симбиотических звезд по своим основным физическим характеристикам (ответности, температуры, радиусы, годовые потери масс) не отличаются от нормальных звезд асимптотической последовательности гигантов.

2. Массы холодных компонентов симбиотических звезд $\sim 3 M_{\odot}$.

3. Холодные компоненты симбиотических звезд не заполняют своей полости Роша.

4. Среди холодных компонентов симбиотических звезд аномально много углеродных звезд.

Авторы выражают глубокую признательность П. Траату, А. В. Тутукову, У. Уусу и А. Сапару за ценные обсуждения в ходе работы, а также А. Линнас, Л. Кивиранд и Т. Пехк за большую помощь при оформлении статьи.

Институт астрофизики
и физики атмосферы АН ЭССР

CHARACTERISTICS OF THE COLD COMPONENTS
OF SYMBIOTIC STARS

L. LUUD, L. LEEDJÄRV

Using the Blackwell-Shallis method the luminosities, temperatures and radii for cold components of symbiotic stars and for a sample of field red giants have been determined by means of infrared photometric observations. It turned out that the cold components of symbiotic stars do not differ from the normal red giants of the asymptotic branch. The masses of cold components of symbiotic stars have been found to be close to $3 M_{\odot}$. The cold components of symbiotic stars do not fill their Roche lobes. About 10 times more carbon stars than the normal value in the vicinity of the Sun have been found among the cold components of symbiotic stars.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. J. Kenyon, R. F. Webbink, *Astrophys. J.*, 279, 252, 1984.
2. D. A. Allen, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 192, 521, 1980.
3. T. Tsuji, *Astron. and Astrophys.*, 62, 29, 1978.
4. D. E. Blackwell, M. J. Shallis, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 180, 177, 1977.
5. D. A. Allen, IAU Coll. No. 70, *The Nature of Symbiotic Stars*, eds. M. Friedjung, R. Viotti, D. Reidel, Dordrecht, 1982, p. 27.
6. J. P. Swings, D. A. Allen, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 84, 523, 1972.
7. S. J. Kenyon, J. S. Gallagher, *Astron. J.*, 88, 666, 1983.
8. P. Szkody, *Astrophys. J.*, 217, 140, 1977.
9. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Астрон. ж.*, 59, 92, 1982.
10. N. J. Woolf, *Astrophys. J.*, 185, 229, 1973.
11. D. Reimers, D. Grootte, *Astron. and Astrophys.*, 123, 257, 1983.
12. M. W. Feast, B. S. C. Robertson, R. M. Catchpole, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 179, 499, 1977.
13. P. A. Whitelock, R. M. Catchpole, M. W. Feast, G. Roberts, B. S. Carter, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 203, 363, 1983.
14. M. Klutz, O. Stmonetto, J. P. Swings, *Astron. and Astrophys.*, 66, 283, 1978.
15. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Письма в Астрон. ж.*, 9, 36, 1983.
16. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Астрон. ж.*, 61, 510, 1984.
17. M. Kafatos, A. G. Michalitsianos, R. W. Hobbs, *Astrophys. J.*, 240, 114, 1980.
18. M. Plavec, IAU Coll. No. 70, *The Nature of Symbiotic Stars*, ed. M. Friedjung, R. Viotti, D. Reidel, Dordrecht, 1983, p. 231.
19. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Письма в Астрон. ж.*, 9, 618, 1983.
20. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Письма в Астрон. ж.*, 11, 55, 1985.
21. J. W. Renzies, I. M. Coulson, J. A. R. Caldwell, P. M. Corben, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 200, 463, 1982.
22. Л. С. Лууд, *Астрофизика*, 18, 443, 1980.
23. M. W. Feast, P. A. Whitelock, R. M. Catchpole, G. Roberts, B. S. Carter, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 202, 951, 1983.

24. S. *Bensattar*, M. *Friedjung*, S. *Assus*, *Astron. and Astrophys.*, 83, 261, 1980.
25. Т. С. *Белякина*, Р. Е. *Гершберг*, Ю. С. *Ефимов*, В. И. *Краснобабцев*, Е. П. *Пивленко*, П. П. *Петров*, И. К. *Чугаев*, В. И. *Шенаврин*, *Астрон. ж.*, 59, 302, 1982.
26. О. Г. *Таранова*, Б. Ф. *Юдин*, *Астрон. ж.*, 58, 1249, 1981.
27. A. *Altamore*, G. B. *Baratta*, A. *Cassatella*, M. *Friedjung*, O. *Riccardi*, R. *Viotti*, *Astrophys. J.*, 245, 630, 1981.
28. P. A. *Whitelock*, M. W. *Feast*, R. M. *Catchpole*, B. S. *Carter*, G. *Roberts*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 203, 351, 1981.
29. R. D. *Gehrz*, N. J. *Wolf*, *Astrophys. J.*, 165, 285, 1971.
30. L. F. *Jenkins*, *General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes*, New Haven, Yale University Observatory, 1952.
31. В. *Страйжис*, Многоцветная фотометрия звезд, Моклас, Вильнюс, 1977.
32. T. *Mikami*, A. *Hack*, *Publ. Astron. Soc. Jap.*, 34, 529, 1982.
33. I. *Iben Jr.*, A. V. *Tutukov*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 54, 335, 1984.
34. А. С. *Шаров*, *Астрон. ж.*, 40, 900, 1963.
35. Л. *Лууд*, *Публ. Тартуской обсерв.*, 48, 55, 1978.
36. М. *Пехк*, Т. *Тувикиене*, Энергетические характеристики К- и М-гигантов в инфракрасной области спектра, Ваугус, Таллин, 1981.
37. Л. *Лууд*, Т. *Томов*, Письма в *Астрон. ж.*, 10, 860, 1984.
38. R. P. *Kraft*, *Astrophys. J.*, 127, 625, 1958.
39. T. *Iijima*, *Astron. and Astrophys.*, 116, 210, 1982.
40. A. D. *Thackeray*, J. B. *Hutchings*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 167, 319, 1974.
41. J. B. *Hutchings*, A. P. *Cowley*, R. O. *Redman*, *Astrophys. J.*, 201, 404, 1975.
42. А. А. *Боярчук*, *Изв. Крым. обсерв.*, 39, 124, 1968.
43. J. A. *Mattel*, J. Allen, *J. Roy. Astron. Soc. Can.*, 73, 173, 1979.
44. J. *Grygar*, L. *Hric*, D. *Chochol*, A. *Mammano*, *Bull. Astron. Inst. Czech.*, 30, 308, 1979.
45. J. D. *Fernie*, A. A. *Brooker*, *Astrophys. J.*, 133, 1088, 1961.
46. G. R. *Knapp*, T. G. *Phillips*, R. B. *Letighton*, K.-Y. *Lo*, P. G. *Wannier*, H. A. *Wooten*, P. J. *Huggins*, *Astrophys. J.*, 252, 616, 1982.
47. D. N. *Spergel*, L. L. *Giuliant*, G. R. *Knapp*, *Astrophys. J.*, 275, 330, 1983.
48. P. C. *Gregory*, E. R. *Szaqutst*, *Nature*, 247, 532, 1974.
49. C. de *Jager*, H. *Nieuwenhutjzen*, K. A. *van der Hucht* (in press).
50. D. *Reimers*, *Mem. Soc. Roy. Sci. Liege*, 6-e ser., 8, 369, 1975.
51. А. В. *Тутуков*, Л. Р. *Юнгельсон*, *Астрофизика*, 12, 521, 1976.
52. В. *Paczynski*, В. *Rudak*, *Astron. and Astrophys.*, 82, 349, 1980.
53. Ю. П. *Коровяковский*, *Изв. Спец. астрофиз. обсерв.*, 4, 11, 1972.
54. P. W. *Merrill*, *Astrophys. J.*, 112, 514, 1950.
55. R. *Smith*, *Astrophys. J.*, 237, 831, 1980.
56. P. W. *Merrill*, *Astrophys. J.*, 111, 434, 1950.
57. S. J. *Kenyon*, F. M. *Batson*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 96, 321, 1981.
58. А. А. *Боярчук*, *Астрон. ж.*, 44, 1016, 1967.
59. S. J. *Kenyon*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 94, 165, 1982.
60. M. *Plavec*, P. *Kratochvil*, *Bull. Astron. Inst. Czech.*, 15, 171, 1964.
61. V. M. *Blanco*, M. F. *McCarthy*, *Physical Processes in Red Giants*, eds. I. *Iben Jr.*, A. *Renzini*, D. *Reidel*, Dordrecht, 1981, p. 147.