

УДК: 524.338.3:524.5

О СВОЙСТВАХ ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА
В СИМБИОТИЧЕСКИХ ЗВЕЗДАХ

Л. ЛЕЭДЯРВ

Поступила 5 мая 1989

Принята к печати 11 октября 1989

Путем сравнения наблюдаемых и вычисленных непрерывных спектров в диапазоне длин волн от 25 Å до 20 см определены приблизительные физические характеристики компонентов 15 симбиотических звезд. В данной работе рассматриваются ионизованные газовые оболочки. Выявлена корреляция между массой оболочки и светимостью горячего компонента, а также зависимость состояния газовой оболочки от характеристик холодного компонента. Представлена гипотеза о корреляции между параметрами холодных и горячих компонентов. Зависимость массы газовой оболочки от ее электронной плотности аналогична этой зависимости для планетарных туманностей. Обсуждается сходство и различие между симбиотическими звездами и планетарными туманностями.

1. *Введение.* Общепринятая в настоящее время модель симбиотической звезды содержит красный гигант (обычно спектрального класса К или М) и горячую звезду (возможно с аккреционным диском), которая ионизует истекаемое из красного гиганта вещество. Кроме того, в некоторых симбиотических системах существует пыль. Такая система излучает электромагнитное излучение в широком диапазоне длин волн и распределение энергии в ее спектре содержит много информации о компонентах системы.

Метод сравнения наблюдаемых и вычисленных непрерывных спектров применили, например, Кенион и Веббинк [1] для выяснения природы горячих компонентов симбиотических звезд. Наша методика вычисления распределения энергии в непрерывном спектре изложена в работе [2]. Основные результаты, относящиеся к холодным и горячим звездам в симбиотических системах, приведены в работе [3]. Настоящая статья посвящена изучению некоторых характеристик ионизованных газовых оболочек у тех же звезд и выявлению возможных корреляций между характеристиками газовой оболочки и других компонентов симбиотической системы. За основу приняты модели, предложенные в работе [3].

2. *Ионизация газа в симбиотических системах.* Красные гиганты в симбиотических системах (как и одиночные звезды) теряют вещество в виде звездного ветра. Согласно наиболее распространенным моделям, часть этого ветра ионизируется горячим компонентом. Но предложены и модели, в которых газовая оболочка образуется из ветра горячего компонента или обоих компонентов — так называемые модели сталкивающихся ветров, изученные, например, в работах [4] и [5].

В настоящей работе рассматривается сферически-симметричная ионизованная туманность с постоянной электронной плотностью n_e и электронной температурой T_e . В последнее время применяют и более сложные модели, учитывающие зависимость формы и распределения плотности газа от темпа потери массы красным гигантом и т. д. (например, в работах [6—8]). Но, опираясь на вычисления Нуссбаумера [9], можно наше приближение считать разумным в предположении, что скорость потери массы $\dot{M} \geq 10^{-6}$.

$M_\odot/\text{год}$ (многие оценки для симбиотических звезд подтверждают это предположение, хотя такие значения $\dot{M}$ несколько превышают обычные значения для М-гигантов). В состав туманности включены ионизованный водород (H^+) и двухкратно ионизованный гелий (He^{+2}), причем $n(He^{+2})/n(H^+) = 0.1$ и $n(H^+) = n_e$. Рассматриваются рекомбинации, свободносвободные переходы и двухквантовые переходы как процессы, дающие излучение в непрерывном спектре газа (вклад последнего процесса при $n_e \geq 10^8 \text{ см}^{-3}$ незначительный).

Источником ионизации в наших моделях является горячая звезда типа субкарлика или пограничный слой между аккреционным диском и аккрецирующей звездой. Число ионизирующих фотонов в секунду для H^+ и He^{+2} определяется соответственно формулами

$$N_T(H^+) = \int_0^{912 \text{ Å}} (\lambda L_h(\lambda)/hc) d\lambda, \quad (1)$$

и

$$N_T(He^{+2}) = \int_0^{228 \text{ Å}} (\lambda L_h(\lambda)/hc) d\lambda, \quad (2)$$

где $L_h(\lambda) = 4\pi d^2 F_h(\lambda)$ — светимость горячего компонента на единицу длины волны. В этой формуле d — расстояние до звезды, $F_h(\lambda)$ — поток излучения горячего компонента в непрерывном спектре (в единицах $\text{эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ Å}^{-1}$). Исходя из чисел N_T , вычисляется радиус сферы Стремгрена и объем ионизованной туманности. При этом нами вводится коэффициент заполнения α , который позволяет в какой-то

степени учитывать отклонение формы туманности от сферической. Масса ионизованного газа вычисляется по формуле

$$M_{\text{газ}} = (4/3) \pi R^3 \varepsilon n(H^+) \cdot 1.4 \cdot 8.245 \cdot 10^{-58} (M_{\odot}), \quad (3)$$

где множитель 1.4 учитывает вклад атомов гелия.

К настоящему времени нами определены характеристики компонентов для 15 симбиотических звезд. Методика вычислений подробно описана в работах [2] и [3]. Здесь только отметим, что вычисленное и наблюдаемое распределения энергии сравнились в диапазоне длин волн от 25 Å до 20 см. Ионизованный газ дает существенную долю излучения системы в ультрафиолетовой и видимой областях спектра и является практически единственным источником излучения в радиодиапазоне. Сразу отметим, что сравнение потоков в континууме не позволяет однозначно определить электронную плотность n_e и электронную температуру излучающего газа. Для этого требуется детальный анализ эмиссионных линий. В наших вычислениях при возможности используют определения T_e из литературы, а в некоторых случаях значение T_e очень грубо оценено по форме континуума за границей серии Бальмера. Применяемые значения электронных температур приведены в табл. 1.

Спектр свободно-свободных переходов вычисляется в приближении, что при некоторой критической частоте $\nu_{\text{ср}}$ в радиодиапазоне туманность станет оптически толстой. Это значит, что поток $F\nu$ будет пропорциональным ν^2 , вместо $F\nu \propto \nu^{-0.1}$ в оптически тонкой области. В действительности, видимо, существует переходная область частот, где спектральный индекс плавно изменяется. Возможно, на это обстоятельство указывают и наблюдаемые спектральные индексы симбиотических звезд в пределах 0.6—1.2 [6] (с другой стороны индекс 0.6 означает, что радиоизлучение возникает в движущейся газовой оболочке с градиентом плотности). Количество радионаблюдений симбиотических звезд обычно не позволяет определить частоту $\nu_{\text{ср}}$. Но если в нашем приближении фиксировать все параметры симбиотической системы, кроме n_e , тогда форма распределения энергии в радиодиапазоне зависит только от электронной плотности. Таким образом, с помощью ЭВМ в интерактивном режиме можно выбрать значение n_e , дающее наилучшее согласие теоретического потока с наблюдениями. При предположении сферической симметрии ионизованного газа получаемая нами оценка n_e характеризует среднюю электронную плотность объема газа, излучающего в радиодиапазоне. Если для данной звезды имеется только верхний предел радиопотока, оценку электронной плотности можно рассматривать как нижний предел.



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВЫХ ТУМАННОСТЕЙ ПО
МОДЕЛЯМ ИЗ РАБОТЫ [3]

Звезда, тип модели	T_e (К)	n_e (см $^{-3}$)	$M_{\text{газ}}$ ($M_{\odot}$)	$R_{\text{газ}}$ (см)	$N_e(H^+)$ (с $^{-1}$)
EG And AЧТ	10 000	8.0 (6)	1.40 (—7)	1.54 (14)	1.23 (44)
AX Peg AЧТ	16 000	2.0 (7)	4.53 (—5)	8.31 (14)	7.90 (46)
AX Peg аккр	10 000	1.5 (7)	1.29 (—5)	6.02 (14)	2.13 (46)
RX Pup аккр	10 000	1.0 (7)	1.03 (—4)	1.35 (15)	1.06 (47)
SY Mus аккр	12 000	1.0 (10)	2.07 (—8)	8.07 (12)	1.54 (46)
RW Hya AЧТ	15 000	4.0 (7)	4.30 (—6)	3.01 (14)	1.55 (46)
T CrB AЧТ	20 000	2.0 (7)	3.92 (—6)	3.67 (14)	6.11 (45)
T CrB аккр	17 000	6.0 (6)	5.28 (—6)	6.06 (14)	2.68 (45)
AG Dra AЧТ	25 000	1.3 (8)	8.17 (—6)	2.49 (14)	7.67 (46)
AR Pav аккр	12 000	1.0 (7)	7.28 (—6)	5.95 (14)	8.36 (45)
BF Cyg AЧТ	10 000	1.0 (6)	6.58 (—4)	5.50 (15)	7.22 (46)
BF Cyg аккр	10 000	2.0 (6)	4.10 (—4)	3.73 (15)	9.00 (46)
CI Cyg аккр	17 000	2.0 (7)	3.85 (—5)	6.92 (14)	8.46 (45)
VI016 Cyg AЧТ	23 000	3.4 (6)	1.43 (—3)	4.75 (15)	3.54 (47)
VI016 Cyg аккр	18 000	1.7 (6)	3.17 (—3)	7.79 (15)	4.43 (47)
RR Tel AЧТ	25 000	4.0 (6)	5.73 (—4)	2.89 (15)	2.39 (47)
RR Tel аккр	17 000	2.0 (6)	3.55 (—4)	3.56 (15)	6.01 (46)
AG Peg AЧТ	20 000	1.0 (7)	2.94 (—5)	9.26 (14)	2.44 (46)
Z And AЧТ	15 000	1.0 (7)	2.38 (—5)	8.44 (14)	2.14 (46)
Z And аккр	10 000	5.0 (6)	1.10 (—5)	8.23 (14)	6.03 (45)
R Aqr AЧТ	20 000	1.2 (7)	3.40 (—7)	2.12 (14)	4.24 (44)
R Aqr аккр	18 000	1.5 (6)	4.94 (—7)	4.68 (14)	1.00 (44)

Примечание. 8.0 (6) обозначает $8.0 \cdot 10^6$ и т. д.

Сравнение наших оценок n_e с данными литературы, полученными в основном по УФ-наблюдениям от спутника IUE, приведено в табл. 2. Как видно, для многих звезд приведен довольно широкий диапазон электронных плотностей. Это отражает обстоятельство, что разные эмиссионные линии образуются в разных местах симбиотической системы. Поскольку наши оценки n_e характеризуют среднюю плотность излучающего газа, согласие их с другими определениями в ряде случаев можно считать хорошим. Для звезд SY Mus и AR Pav, пока ненаблюдаемых в радиодиапазоне, невозможно получить оценку n_e по нашей методике. SY Mus отличается очень высокой электронной плотностью по УФ-линиям, возможно этим и объясняется ее слабое радиоизлучение, не позволяющее детектирование совре-

менными приборами. Для AR Pav выбрано $n_e = 10^7 \text{ см}^{-3}$ как характерное значение для симбиотических звезд типа S. Модели звезд EG And и CI Cyg модифицированы по сравнению с работой [3], учитывая новейшие радионаблюдения [30]. Пересмотрены также модели R Aqr.

Таблица 2
СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК n_e С ДАННЫМИ ЛИТЕРАТУРЫ

Звезда	$n_e \text{ (см}^{-3}\text{)}$		Примечания
	В данной работе	По УФ-спектрам, литература	
EG And	8.0 (6) АЧТ	1.0 (5) [10], 3.0 (9) [11]	1
AX Per	1.5 (7) аккр	2.0 (8) [12]	
	2.0 (7) АЧТ	2.0—6.0 (8) [13] >1.0 (9) [14]	
RX Pup	1.0 (7) аккр	1.0 (9)—1.0 (11) [12, 15]	2
SY Mus	1.0 (10) аккр	1.0 (10) [12, 16]	
		8.0 (9)—2.0 (11) [17]	
RW Hya	4.0 (7) АЧТ	2.5-3.0 (7), 1.0-3.0 (8) [18]	1
T CrB	6.0 (6) аккр	1.0 (8)—1.0 (9) [19]	
	2.0 (7) АЧТ	—	
AG Dra	1.3 (8) АЧТ	1.0 (8) [20], 1.0 (10) [21]	1
AR Pav	1.0 (7) аккр	—	2
BF Cyg	1.0 (6) АЧТ	1.0 (5)—1.0 (8) [12]	
	2.0 (6) аккр	5.0 (9) [13]	
CI Cyg	2.0 (7) аккр	1.0 (7) [22], <4.0 (9) [23]	
V1016 Cyg	1.7 (6) аккр	3.0 (6) [24]	
	3.4 (6) АЧТ		
RR Tel	2.0 (6) аккр	3.0—5.0 (6) [25]	
	6.0 (6) АЧТ	1.0 (6)—1.0 (8) [12]	
AG Peg	1.0 (7) АЧТ	1.0 (7)—1.0 (11) [12] 1.0 (10) [26]	
Z And	5.0 (6) аккр	2.0 (10) [12, 27]	
	1.0 (7) АЧТ	0.6—2.2 (10) [28]	
R Aqr	1.5 (6) аккр	1.0 (6) [29]	
	1.2 (7) АЧТ		

Примечания. 1. Верхний предел радиопотока. 2. Нет радионаблюдений.

3. Соотношения между параметрами симбиотической системы. Основные физические параметры газовых туманностей в наших моделях приведены в табл. 1. Тип модели обозначает природу горячего компонента: либо

это субкарлик в приближении абсолютно черного тела (АЧТ), либо аккреционный диск (аккр).

Рассмотрим сначала влияние горячего компонента на состояние газа. Число ионизирующих фотонов $N_{\gamma} (H^+)$ (а также $N_{\gamma} (He^{+2})$) зависит непосредственно от распределения энергии в спектре горячего компонента. Вычисленная масса ионизованного газа показывает явную корреляцию с величиной $N_{\gamma} (H^+)$ (рис. 1а). Такая же корреляция имеется между вычисляемыми по моделям показателями цвета $U-B$ и величинами $N_{\gamma} (H^+)$ (рис. 1б). Физический смысл такой связи очевиден: чем больше светимость горячего компонента в далеком ультрафиолете, тем больше относительная доля газа в излучении симбиотической системы в полосе U ; а доля газа в излучении полосы B мало зависит от величины $N_{\gamma} (H^+)$.

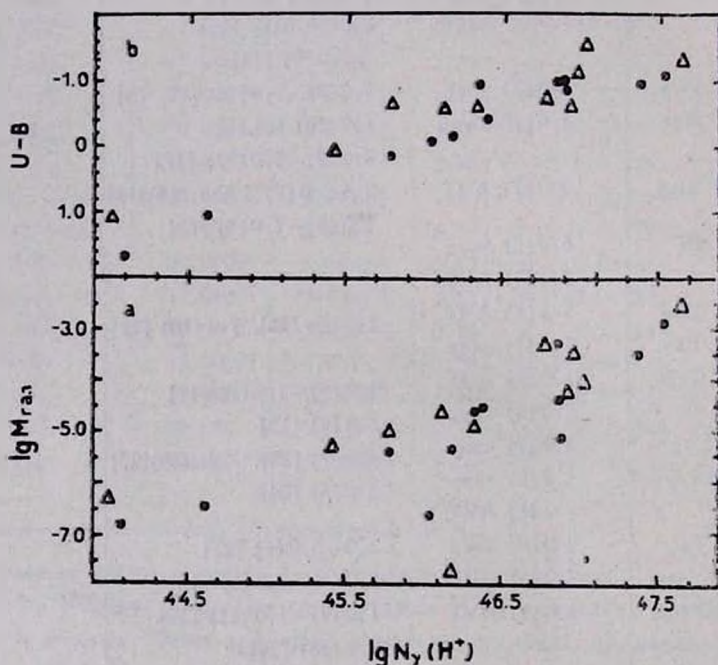


Рис. 1. а — зависимость массы ионизованного газа от числа ионизирующих фотонов, б — то же для показателя цвета $U-B$. Точками отмечены модели с горячим компонентом в приближении АЧТ, треугольниками — модели с аккреционным диском (такие же обозначения используются на рис. 2, 3 и 6).

С другой стороны, спектр потока излучения из газовой оболочки зависит не только от источника ионизации, но и от параметров самого газа (n_e , T_e и др.). Значит, согласно общепринятой в настоящее время модели, свойства газовых туманностей у симбиотических звезд определяются также красным гигантом как источником выбрасываемого вещества. На рис. 2

приведена корреляция между средней электронной плотностью n_e и светимостью холодного компонента $L_{\text{хол}}/L_{\odot}$. Хотя разброс точек большой, заметна тенденция уменьшения n_e с увеличением светимости. Аналогичный результат по другой методике получил Аллен [31]. Имеется зависимость

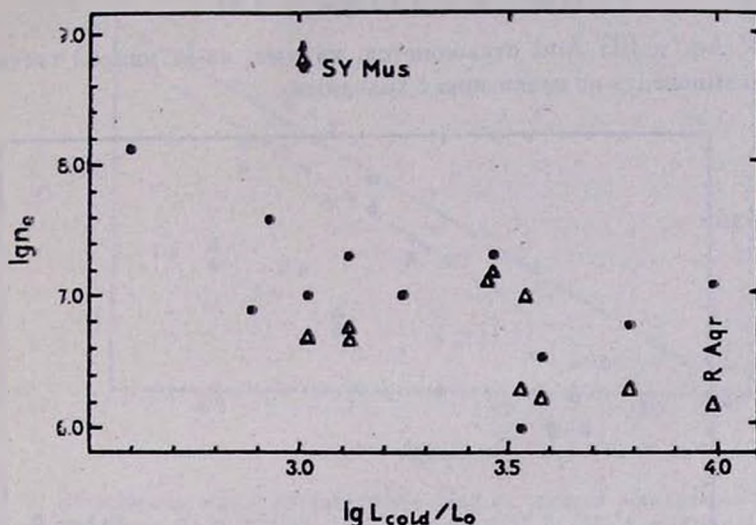


Рис. 2. Зависимость средней электронной плотности от светимости холодного компонента.

массы ионизованного газа от радиуса холодного компонента (рис. 3), примерно такая же корреляция существует между радиусами газовой оболочки и холодного компонента. Значения радиусов и светимостей красных гигантов заимствованы из работы [32], там же приведены применяемые значения расстояний до симбиотических звезд и соответствующие ссылки на литературу.

На рис. 2 и 3 параметры некоторых звезд отклоняются от общей тенденции. Как уже отмечено, SY Mus, видимо, симбиотическая звезда с исключительно высокой электронной плотностью — до 10^{11} см^{-3} [17] по некоторым спектральным линиям. R Aqr, по доступным нам данным, звезда низкого возбуждения. У этой звезды еще много пекулярных свойств (см. [33] и ссылки там же), но часть ошибок, видимо, обусловлена неточными значениями расстояний.

По рис. 2 и 3 можно сделать вывод, что масса ионизованного газа должна уменьшаться с увеличением электронной плотности. Такая зависимость действительно существует, она демонстрируется на рис. 4. Физически это значит, что туманности ограничены по ионизации, а не по плотности. Такая же зависимость массы от электронной плотности существует

для планетарных туманностей [34]. Продление прямой, полученной на основе изучения собственных движений планетарных туманностей (рис. V.9 в книге [34]), изображено на рис. 4 прерывистой линией. Сплошной линией показана линейная аппроксимация для симбиотических звезд:

$$\lg M_{\text{газ}} = -1.16 \lg n_* + 3.81. \quad (4)$$

Звезды R Aqr и EG And отклоняются, видимо, из-за низкой светимости горячего компонента по сравнению с холодным.

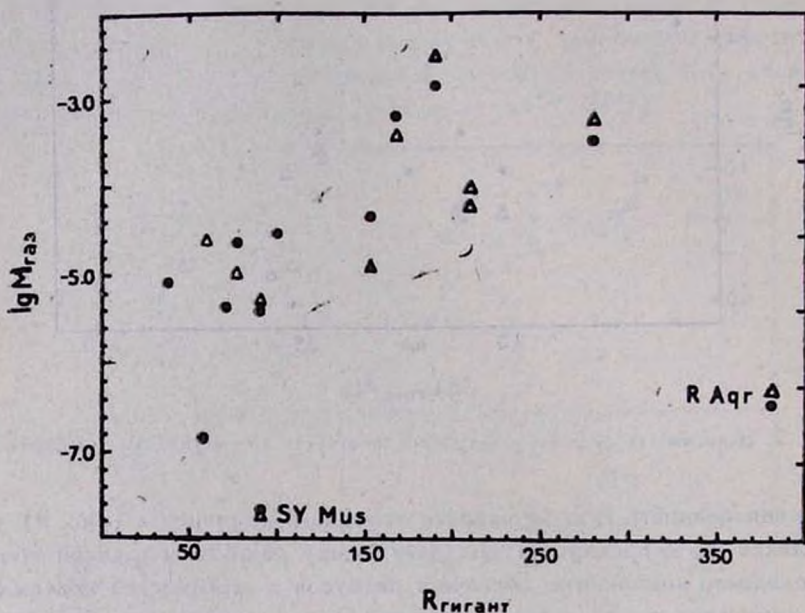


Рис. 3. Зависимость массы ионизованного газа от радиуса холодного компонента.

Далее рассмотрим радиоизлучение. На сантиметровых волнах практически все излучения дают свободно-свободные переходы в оптически толстой ионизованной газовой оболочке. Следовательно, интенсивность радиоизлучения должна зависеть и от свойств красного гиганта как источника истечения газа. Одна из возможных зависимостей — между наблюдаемым радиопотоком на длине волны 6 см ($\nu = 4.9$ ГГц) и светимостью холодного компонента — приведена на рис. 5. Хотя на этом рисунке звезд мало и разброс точек большой, можно выделить две группы звезд. Нижние 8 звезд (кроме T CrB, которая считается повторной новой) принадлежат к «обычным» симбиотическим звездам типа S. Звезды AG Peg, RR Tel и V 1016 Cyg известны как медленные новые (в последнее время такие звезды принято называть симбиотическими новыми). Звезды R Aqr и RX Pup, а также RR Tel и V 1016 Cyg — симбиотические звезды типа

D, содержащие в качестве холодного компонента мириды с пылевыми оболочками.

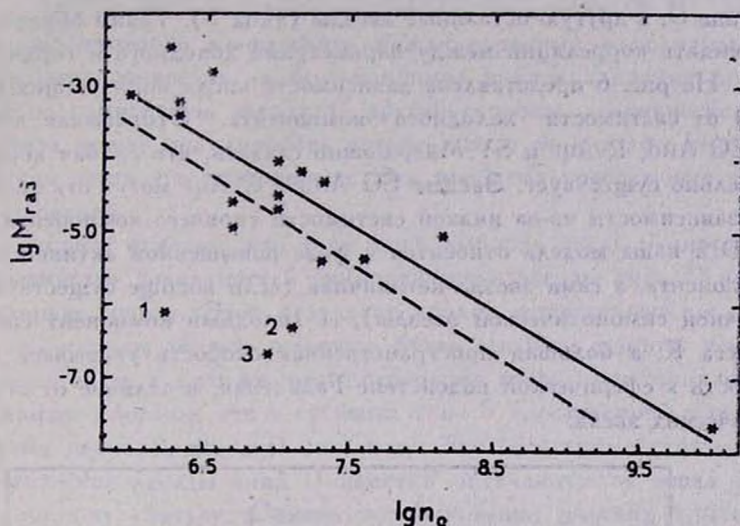


Рис. 4. Зависимость массы ионизованного газа от средней электронной плотности. Номера обозначены: 1—R Aqr аккр. 2—R Aqr АЧТ, 3—EG And. Сплошной линией обозначено линейное приближение для симбиотических звезд, прерывистой линией — то же для планетарных туманностей ([34], стр. 135).

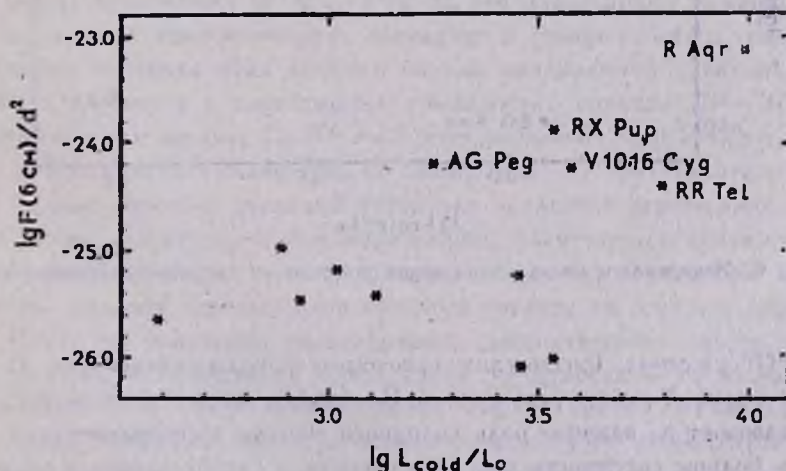


Рис. 5. Зависимость радиопотока на длине волны 6 см от светимости холодного компонента.

Как мы видели выше, параметры ионизованного газа, а следовательно и интенсивность радиоизлучения зависят также от параметров горячего

компонента в данной симбиотической системе. Действительно, на плоскости $\lg (F_{60m}/d^2) - \lg N_7(H^+)$ явно выделяются две группы звезд: в одну группу, с более высокой радиосветимостью, входят симбиотические новые и звезды типа D, в другую остальные звезды (типа S). Таким образом, можно бы ожидать корреляции между параметрами холодного и горячего компонентов. На рис. 6 представлена зависимость числа ионизирующих фотонов $N_7(H^+)$ от светимости холодного компонента. Отбрасывая в сторону звезды EG And, R Aqr и SY Mus, можно сказать, что слабая корреляция действительно существует. Звезды EG And и R Aqr могут отклоняться от средней зависимости из-за низкой светимости горячего компонента. В случае AG Dra наша модель относится к фазе повышенной активности горячего компонента, а сама звезда нетипичная (если вообще существует понятие типичной симбиотической звезды), ее холодный компонент спектрального класса K, а большая пространственная скорость указывает на принадлежность к сферической подсистеме Галактики, в отличие от остальных симбиотических звезд.

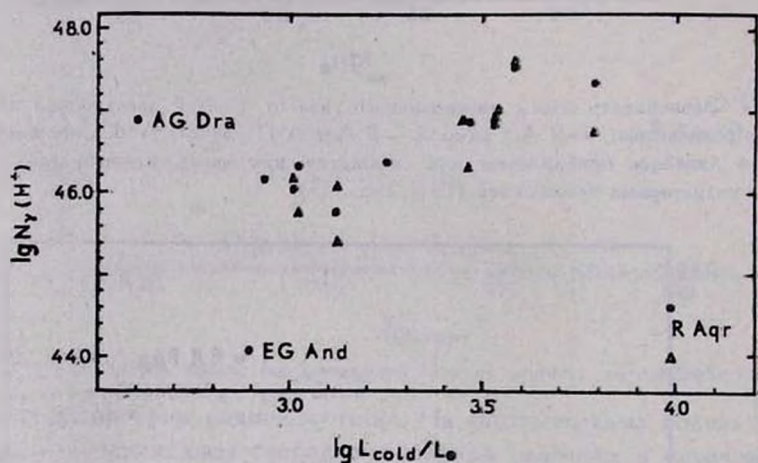


Рис. 6. Зависимость числа ионизирующих фотонов от светимости холодного компонента.

4. *Обсуждение.* Рассмотрим некоторые выводы, следующие из полученных в данной работе результатов. Во-первых, зависимости на рис. 2, 3, 5 и 6 указывают на важную роль холодного гиганта в симбиотической системе. Чем больше светимость красного гиганта, а следовательно и темп потери массы, тем более обширна выбрасываемая им газовая туманность и тем меньше ее электронная плотность. В настоящее время принято, что активность горячего компонента в симбиотических системах в общем не коррелирует со светимостью холодного компонента, т. е. вспышки, активные пе-

риоды и т. д. не связаны с переменностью красного гиганта. Наши модели относятся в основном к фиксированному моменту времени. Потому, если считать слабую корреляцию на рис. 6 реальной, то можно предполагать, что она выражает самосогласованность этих моделей. Но, конечно, не исключена некоторая взаимосвязь между горячими и холодными компонентами симбиотических звезд — например в виде аккреции вещества от гиганта на компактную звезду. С другой стороны, активность горячего компонента может модулировать потерю массы от красного гиганта путем нагревания части его поверхности. Эта проблема требует еще тщательно-го исследования.

Во-вторых, отметим, что хотя наша выборка звезд немногочисленная, по большому числу зависимостей симбиотические звезды типа D выделяются в отдельную группу. Этот результат вполне естественный, если иметь в виду, что мириды теряют вещество более высоким темпом, чем обычные красные гиганты, а в то же время сепарация звезд в системах типа D, видимо, намного больше, чем в системах типа S (достоверных данных об орбитальных периодах звезд D пока нет). Это отражает обстоятельство, что симбиотические звезды типа D заметно отличаются от звезд типа S по эволюционному статусу. Однако возникновение явления симбиотической новой, видимо, возможно как в звездах типа D (RR Tel и V 1016 Cyg в нашей выборке), так и в звездах типа S (AG Peg).

Наконец, вопрос о возможной связи между симбиотическими звездами и планетарными туманностями. Как видно из рис. 4, линейная регрессия между величинами $\lg M_{\text{газ}}$ и $\lg n_e$ для планетарных туманностей довольно хорошо аппроксимирует ситуацию в симбиотических звездах. Но численные значения этих величин сильно различаются — типичные электронные плотности в планетарных туманностях порядка 10^2 — 10^4 см $^{-3}$, в симбиотических звездах $\geq 10^6$ см $^{-3}$. Это указывает на различие механизмов выбрасывания туманности. В симбиотических звездах этим механизмом служит обычный звездный ветер или усиленное перетекание вещества через точку Лагранжа, а при образовании планетарных туманностей, видимо, мы имеем дело с катастрофическим сверхветром, который очень интенсивно удаляет внешние слои красного гиганта от горячего ядра.

Итак, нет основания рассматривать симбиотические звезды как прямые аналоги выбрасывания планетарной туманности в двойных звездах. С эволюционной точки зрения симбиотические звезды — это класс двойных звезд, начальные массы и начальная сепарация компонентов которых должны быть в определенном промежутке значений. Но не исключено образование планетарных туманностей из тех же звезд в ходе дальнейшей эволюции. На одну возможную связь указывают опять симбиотические звезды типа D и медленные новые. Напоминаем, что звезды V 1016 Cyg

и HM Sge иногда называют и протопланетарными туманностями (например, в работе [24]), при этом имеется в виду модель одиночной звезды. В нашей трактовке такие объекты все-таки двойные звезды, но модели показывают, что свойства их газовых оболочек (например, n_e) ближе к свойствам планетарных туманностей, чем у оболочек остальных симбиотических звезд. Можно также отметить результаты Фейбельмана и Аллера [35]: по отношению интенсивностей линий C III λ 1909 и Si III λ 1892 четыре звезды — HM Sge, RR Tel, V 1016 Cyg и V 1329 Cyg занимают промежуточное положение между планетарными туманностями и другими симбиотическими звездами. Все это, наверное, следствие более интенсивного истечения вещества из миридов по сравнению с нормальными красными гигантами.

5. *Заключение.* Наше грубое приближение выявило некоторые корреляции между параметрами газовых туманностей и других компонентов симбиотических систем. Разработка более точных моделей, а также одновременные наблюдения в возможно широком диапазоне длин волн способствуют более полному пониманию эволюционных путей этих интересных звезд и происходящих там физических явлений.

Статья посвящается памяти проф. Л. Лууда, участвовавшего в постановке проблемы и в обсуждениях в ходе работы. Автор выражает признательность рецензенту за полезные замечания, а также Х. Венник и А. Линнас за большую помощь при оформлении статьи.

Институт астрофизики
и физики атмосферы АН Эстонии

ON THE PROPERTIES OF IONIZED GAS IN SYMBIOTIC STARS

L. LEEDJÄRV

Approximate physical characteristics of the components of 15 symbiotic stars have been derived by the comparison of observed and calculated continuous spectra in the wavelength range from 25 Å to 20 cm. In the present paper the ionized gaseous envelopes have been considered. A correlation between the mass of the envelope and the luminosity of the hot component has been found, as well as the dependence of the properties of the gas on the characteristics of the cold component. It has been suggested that there may exist some correlation between the parameters of hot and cold components. The dependence of the mass of gaseous envelope on its electron density is similar to that for planetary nebulae. The similarity and differences between symbiotic stars and planetary nebulae have been discussed.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. J. Kenyon, R. F. Webbink, *Astrophys. J.*, 279, 252, 1984.
2. L. Leedjårv, *ENSV TA Prepr.*, A-7, 1988.
3. Л. Ледярв, *Астрофизика*, 31, 309, 1989.
4. G. Wallerstein, L. A. Willson, J. Salzer, E. Brugel, *Astron. and Astrophys.*, 133, 137, 1984.
5. T. Girard, L. A. Willson, *Astron. and Astrophys.*, 183, 247, 1987.
6. E. R. Seaquist, A. R. Taylor, S. Batton, *Astrophys. J.*, 284, 202, 1984.
7. A. R. Taylor, E. R. Seaquist, *Astrophys. J.*, 286, 263, 1984.
8. H. Nussbaumer, M. Vogel, *Astron. and Astrophys. J.*, 182, 51, 1987.
9. H. Nussbaumer, *IAU Coll. No. 103, The Symbiotic Phenomenon*, Eds. J. Mikolajewska et al., Kluwer Academic Publishers, 1988, p. 107.
10. S. E. Smith, *Astrophys. J.*, 237, 831, 1980.
11. R. E. Stencel, J. Sahade, *Astrophys. J.*, 238, 929, 1980.
12. S. J. Kenyon, *The Symbiotic Stars*, Cambridge, 1986.
13. N. A. Oltversen, C. M. Anderson, *Astrophys. J.*, 268, 250, 1983.
14. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Астрон. ж.*, 59, 92, 1982.
15. M. Kafatos, A. G. Michalitsianos, W. A. Feibelman, *Astrophys. J.*, 257, 204, 1982.
16. A. G. Michalitsianos, M. Kafatos, W. A. Feibelman, G. Wallerstein, *Astron. and Astrophys.*, 109, 136, 1982.
17. A. G. Michalitsianos, M. Kafatos, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 207, 575, 1984.
18. S. J. Kenyon, T. Fernandez-Castro, *Astrophys. J.*, 316, 427, 1987.
19. M. Kafatos, A. G. Michalitsianos, R. W. Hobbs, *Astrophys. J.*, 240, 114, 1980.
20. M. H. Slovak, J. P. Cassinelli, C. M. Anderson, D. L. Lambert, *Astrophys. and Space Sci.*, 131, 765, 1987.
21. C. M. Anderson, J. P. Cassinelli, W. T. Sanders, *Astrophys. J.*, 247, L127, 1981.
22. T. Iijima, *Astron. and Astrophys.*, 116, 210, 1982.
23. О. Г. Таранова, Б. Ф. Юдин, *Астрон. ж.*, 58, 1051, 1981.
24. H. Nussbaumer, H. Schild, *Astron. and Astrophys.*, 101, 118, 1981.
25. 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.
26. M. V. Penston, D. A. Allen, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 212, 939, 1985.
27. A. Altamore, G. B. Baratta, A. Cassatella, M. Friedjung, A. Giangrande, O. Ricciardi, R. Viotti, *Astrophys. J.*, 245, 630, 1981.
28. T. Fernandez-Castro, A. Cassatella, A. Gimenez, R. Viotti, *Astrophys. J.*, 324, 1016, 1988.
29. R. Viotti, L. Piro, M. Friedjung, A. Cassatella, *Astrophys. J.*, 319, L7, 1987.
30. M. V. Torbett, B. Campbell, *Astrophys. J.*, 340, L73, 1989.
31. D. A. Allen, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 192, 521, 1980.
32. Л. Ледярв, А. Ледярв, *Астрофизика*, 24, 265, 1986.
33. R. Viotti, In: *Cataclysmic and Related Variables*, NASA/CNRS Monograph Series, 8, 1989 (in press).
34. С. Логташ, *Планетарные туманности* (Пер. с англ.), Мир, М., 1987.
35. W. A. Feibelman, L. H. Aller, *Astrophys. J.*, 319, 407, 1987.