АСТРОФИЗИКА

ТОМ 26 ИЮНЬ, 1987 ВЫПУСК 3

УДК: 524.338.3

СИМБИОТИЧЕСКИЕ ЗВЕЗДЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СО СПУТНИКА IRAS

Л. ЛУУД, Т. ТУВИКЕНЕ

Поступила 23 декабря 1986

Просмотрены симбиотические звезды, содержащиеся в каталоге Аллена, с целью выяснения возможного их совпадения с источниками далекого инфракрасного излучения в каталоге точечных источников, наблюденных со спутника IRAS. Отождествлено 72 симбиотических или подозреваемых в симбиотичности объекта. Составлен список отождествленных звезд и приводятся распределения энергии в инфракрасных спектрах избранных звезд. Выявлено, что наличие пыли в симбиотических системах более распространенное явление, чем предполагалось до сих пор. Почти 40% систем являются «пыльными». Среди них обнаружены объекты с температурой пыли в несколько десятков К. Показано, что единственной полезной двухцветной диаграммой является $(K-m_{12})-(m_{12}-m_{25})$.

Наконец, обращается внимание на тип симбиотических звезд, имеющих холодные компоненты спектрального класса G, которые требуют специального исследования.

1. *Введение.* Симбиотические звезды являются сильными источниками инфракрасного излучения. Во-первых, это излучение холодных гигантов, а во-вторых, во многих случаях источником более длинноволнового излучения является находящаяся поблизости пыль. Имеющиеся сведения о симбиотических звездах суммированы Алленом [1, 2]. Обычно инфракрасные наблюдения симбиотических звезд проводятся в полосах Джонсона $JHKL$, в редких случаях также в полосах M и N, еще реже в полосе Q. Это позволяет обнаружить пыль с температурой выше 200 К. Поскольку наблюдения с IRAS [3] доходят до 100 мкм, то открывается возможность обнаружить и более холодную пыль — с температурой до 20 К. Следовательно, стоит проводить систематические исследования симбиотических звезд, вошедших в каталог точечных источников IRAS.

2. *Поиск симбиотических звезд, содержащихся в каталоге IRAS.* Список симбиотических и подозреваемых в симбиотичности звезд опубликован Алленом [2]. Он содержит 129 симбиотических звезд и 15 заподозренных в симбиотичности объектов. Кроме того, был проведен и поиск объектов,

которые можно считать кандидатами в симбиотические или похожими на них.

Многие звезды идентифицированы уже в каталоге точечных источников IRAS, который в нашем распоряжении имелся в виде магнитной ленты. Однако некоторые из этих отождествлений неправильны (например, Мира Кита отождествляется как VZ Кита). Поэтому нами во всех случаях было проведено тщательное исследование окрестности объекта. В спорных случаях отклонение отождествления предпочиталось принятию. Это позволяет считать дальнейшую интерпретацию результатов более надежной.

Выявление конкурирующих объектов было проведено двумя способами. Сперва по каталогу инфракрасных наблюдений Гезари и др. [4] проверялось, нет ли поблизости других объектов, известных как инфракрасные источники, затем по атласам Бечваржа проверялось, не находится ли поблизости яркая звезда, не наблюденная в инфракрасных лучах. Также проверялась возможность отождествления с пекулярными звездами по списку Вакерлинга [5].

Отождествленные вышеизложенным способом симбиотические звезды приведены в табл. 1. В 1 столбце даны названия звезд по каталогу Аллена [2]; в столбце 2 — номера источника по каталогу IRAS (часы, минуты и десятые доли минут прямого восхождения, знак, градусы и минуты склонения), в столбцах 3—6 — результаты наблюдений с IRAS, пересчитанные в единицы эрг см$^{-2}$ с$^{-1}$ А$^{-1}$ (знак : означает IRAS качество 2, знак v — качество 3, фактически это верхний предел потока); в столбце 7 приведен спектральный класс и в столбце 8 — принадлежность звезды к «пылевым» или «звездным» объектам. В столбцах 9 и 10 даны те же величины по данным наблюдений с IRAS, если они отличаются от принятых Алленом [1, 2].

Напоминаем алленовские обозначения: S — звезда, в инфракрасном континууме которой наблюдается излучение холодной звезды, D — звезда, в инфракрасной области спектра которой наблюдается избыточное излучение от пылевой составляющей объекта и D′ — звезда, в спектре которой излучение пыли наблюдается лишь на длинах волн больше 2 мкм. Добавлена подозреваемая симбиотическая звезда XX Oph [6].

В табл. 1 и на последующих рисунках даны каталожные потоки IRAS, рассчитанные для распределения энергии $F_\lambda \sim \lambda^{-1}$. В таком случае коррекционные поправки сильно зависят от реального распределения потока по длинам волн [6]. Иногда коррекции очень сильно зависят от принятой модели, как, например, в случае симбиотических звезд, когда имеются разнотемпературные или низкотемпературные пылевые облака. Поэтому, для выяснения существования инфракрасного эксцесса, распределения энергии в спектрах симбиотических звезд сравниваются с распределениями энер-

Таблица 1

СИМБИОТИЧЕСКИЕ ЗВЕЗДЫ, ОТОЖДЕСТВЛЕННЫЕ С ИСТОЧНИКАМИ КАТАЛОГА IRAS

Обозначение по Аллену	Обозначение по каталогу IRAS	lg F эрг см$^{-2}$ с$^{-1}$ А$^{-1}$				Спектр и S/D по Аллену		Измерения спектра и S/D по IRAS	
		12 мкм	25 мкм	60 мкм	100 мкм				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EG And	00415+4024	−14.03	−15.23	−16.06v	−15.98v	M2	S		
AX Per	01331+5359	−15.18	−15.92v	−16.47v	−16.23v	M5	S		
V741 Per	01555+5239	−14.50	−14.89	−15.82	−16.20v		D′	M6	D
UV Aur	05185+3227	−12.48	−14.00	−15.56	−15.89v	N	D′		
Wray 157	08045−2823	−14.68	−15.16	−16.25	−16.41v	G	D′		
RX Pup	08124−4133	−12.42	−13.20	−13.91	−15.68	M5	D		
AS 201	08296−2735	−14.68	−14.87	−15.69	−16.46:	G	D′		
He2−38	09530−5704	−13.71	−14.68	−15.51	−14.96v	M	D		D′
SY Mus	11299−6508	−14.71	−15.68	−16.12	−15.51v	M2	S		D?
BI Cru	12206−6221	−13.44	−14.13	−15.01v	−14.46v	M	D	M6−7	
He2−87	12423−6244	−14.43v	−14.44:	−15.09	−15.00	M7	S		D′
SS 38	12483−6443	−13.79	−14.80	−15.81v	−15.24v	M	D		
CD−36°8436	13131−3644	−15.04	−15.92v	−16.48v	−16.52v		S		
RW Hya	13315−2507	−14.74	−15.67v	−16.48v	−16.52v	M2	S		
V 704 Cen	13515−5812	−14.53	−15.25	−16.36v	−15.25		D		
(He 2−104)	14085−5112	−13.75	−14.36	−15.35v	−15.55v		D		
He 2−106	14103−6311	−13.17	−13.90	−15.31	−15.06:	M	D		
He 2−127	15210−5139	−14.95	−15.72	−16.24v	−15.57v	M7	D		
HD 330036	15476−4836	−13.38	−13.73	−14.84	−15.54	FG	D′		
He 2−139	15508−5520	−13.91	−13.84	−15.08v	−14.39v		D		
T CrB	15574−2603	−14.84	−15.82:	−16.47v	−16.52v	M3	S		

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AG Dra	16013+6656	−15.20	−15.45v	−16.47v	−16.52v	K1	S		
He 2—147	16099—5651	−14.07	−14.86	−16.40v	−15.05v	M8	D	M6—7	D?
He 2—171	16307—3459	−13.81	−14.66	−16.17	−15.84v	M	D		
He 2—176	16379—4507	−14.23	−14.94	−14.40v	−14.06v	M7	D		
Hen 1242	16401—6231	−15.13	−15.92v	−16.36v	−15.84v	M6	S		
AS 210	16482—2555	−14.08	−15.23	−16.48v	−16.21v	G?	D		
V 455 Sco	17040—3401	−14.59	−15.13	−16.24v	−15.65v	M6	S		D?
H2—5	17211—3131	−14.00	−15.45:	−15.76v	−15.27v	M	S		
Th 3—31	17312—2926	−14.41	−14.99	−15.74v	−14.75v	M5	S	M5—7	D
M 1—21	17313—1909	−14.85	−15.65:	−16.47v	−15.94v	M2	S		D
XX Oph	17412—0614	−13.69	−14.67	−16.06	−15.57v			M6	S
H2—19	17415—3816	−14.85v	−15.82v	−15.98:	−15.29		S	M6	D'
H1—26	17463—3700	−13.42v	−13.87	−15.33	−14.98v		D		
RS Oph	17474—0641	−15.05	−15.32v	−16.48v	−16.09v	M0	S		
AS 245	17479—2218	−14.46	−15.41	−15.73v	−15.00v		S	M2—3	D
He 2—294	17483—3250	−14.34	−14.85	−15.09v	−14.70v	M3	S		D'
B 13—6	17497—3123	−14.56	−15.45:	−15.08v	−14.40v				
AS 255	17537—3513	−14.56v	−15.12v	−15.66v	−15.66	K3	S		D
V 2416 Sgr	17542—2142	−14.10v	−14.99	−15.59v	−14.85v	M5	S		
Ap 1—8	18013—2821	−14.75	−15.52	−15.58:	−14.99v	M0	S	M0—3	D'
SS 122	18015—2709	−14.52	−15.31	−14.97v	−14.20	M7	S?		D'?
AS 270	18026—2025	−14.46	−14.54v	−14.58v	−14.56v	M1	S		
H2—38	18028—2817	−14.15	−15.00	−15.48v	−14.68v	M8	D		
SS 129	18038—2932	−14.81	−15.16v	−15.54v	−14.77v	K	S		D

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V 615 Sgr	18044—3610	—14.74	—15.59v	—16.36v	—16.13v	M	S		D′
Hen 1591	18044—2558	—13.52	—14.26	—14.98v	—14.46	G	D		
AS 276	18058—4108	—15.19v	—15.75v	—16.36	—16.04	M4	S		D′
Ap 1—9	18073—2753	—14.62	—15.47:	—15.36v	—14.75v	K4	S		D′
AS 281	18076—2757	—14.78	—15.58:	—15.37	—14.78v	M5	S		D?
AS 289	18095—1140	—14.62	—15.36	—15.24:	—14.50v	M3	S		D′
Y Cra	18110—4252	—15.28v	—15.91v	—16.04v	—16.15	M5	S		D′
He 2—374	18126—2135	—14.71	—15.46:	—14.87v	—14.18v	M	S	M2—3?	D′?
AS 296	18125—0019	—14.68	—15.66:	—16.48v	—16.09v	M5	S		
AR Pav	18157—6609	—14.73	—15.92v	—16.47v	—16.52v	M3	S		D
He 2—390	18178—2649	—14.01	—14.67	—15.77	—15.70:		D		
V 3804 Sgr	18182—3133	—14.97	—15.61v	—16.43	—16.12	M6	S		
V 433 Her	18200—2325	—15.09	—15.92v	—16.74v	—16.41v	M3	S		
V 3811 Sgr	18206—2157	—13.94	—14.97	—15.43v	—14.67v		S	M2—3	D′
AS 304	18221—2837	—15.00	—15.89v	—16.42v	—15.23	M4	S		D?
V 2601 Sgr	18349—2244	—14.98	—15.62v	—16.44v	—15.31v	M5	S		D?
AS 338	19015+1625	—14.46	—15.48	—16.48v	—15.96v	M5	S		D′
CH Cyg	19232+5008	—11.93	—13.04	—14.83	—15.91	M6	S		
Hen 1761	19373—6814	—15.05	—15.83v	—16.47v	—16.44v	M3	S		
NM Sge	19396+1637	—12.61	—13.40	—15.11	—15.35	M	D		
Cl Cyg	19483+3553	—14.71	—15.80	—16.43v	—15.75v	M5	S		
V 1016 Cyg	19552+3947	—13.05	—13.78	—15.48	—15.77v	M3	D		
RR Tel	20003—5552	—13.38	—14.10	—15.67	—16.52	M5	D		D′
V 1329 Cyg	20492+3518	—14.74	—15.45	—16.48v	—15.78v	M4	S		D′
AG Peg	21486+1223	—14.41	—15.52	—16.45	—16.08v	M3	S		D′?
Z And	23312+4832	—14.85	—15.90	—16.51v	—15.86v	M2	S		D′?
R Aqr	23412—1533	—11.48	—12.58	—14.26	—15.32	M7	D		

гии в спектрах нормальных звезд того же класса. Следовательно, данное исследование носит чисто качественный характер, количественное же исследование инфракрасного излучения избранных объектов будет рассматриваться в следующих работах.

Для сравнения с распределениями энергии в спектрах нормальных звезд нами построены средние распределения энергии в спектрах M 2—3 III, M 4—5 III и M 6—7 III звезд. Первые два средних распределения имеют очень незначительные дисперсии, а последнее распределение показывает довольно большую дисперсию из-за особенностей конкретных объектов.

Всего из 129 симбиотических звезд удалось обнаружить 66 объектов каталога IRAS, что составляет 51%. При этом объектами, обнаруженными с IRAS, оказались из 102 S-звезд 43 (42%), а из 25 D- и D′-звезд — 23 (92%). Этого и следовало ожидать (табл. 2).

Таблица 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИМБИОТИЧЕСКИХ ЗВЕЗД ПО ТИПАМ

Тип	По Аллену (1984)		По данным наблюдений IRAS	
	N	%	*N*	%
S	102	80	78	61
D	21	17	32	25
D′	4	3	17	14
D+D′	25	20	49	39

Примеры распределения энергии в области 1—100 мкм представлены на рис. 1—3. На рис. 1 даны распределения энергии для звезд типа S. В случае Z And на самом деле наблюдаются слабые признаки звезд D′-типа. Рис. 2 иллюстрирует распределения энергии в спектрах звезд типа D, D′. На рис. 3 приведены распределения энергии в спектрах некоторых хорошо изученных симбиотических звезд. Отчетливо видно, что V 1329 Cyg, которая по Аллену считалась S-звездой, имеет околозвездную пыль. Красный гигант в системе AG Peg, видимо, несколько более поздняя звезда, чем звезды класса M3III. Это согласуется с их положением на двухцветной диаграмме.

3. *Исследование инфракрасных свойств симбиотических звезд, отождествленных с объектами каталога IRAS.* По данным табл. 1 можно сказать, что наличие пыли в симбиотических системах более распространенное явление, чем предполагалось до сих пор. Ниже рассмотрим некоторые выводы, следующие из списка симбиотических звезд, являющихся объектами, обнаруженными с IRAS.

Благодаря возможности наблюдать далекую инфракрасную область спектра симбиотических звезд удалось обнаружить большее количество объектов с явными признаками существования околозвездной пыли. Нами исследовались 127 звезд каталога Аллена [2] (3 звезды каталога не классифицированы по типам S, D или D′). В табл. 2 дано их распределение по типам по каталогу Аллена и с учетом данных настоящего исследования.

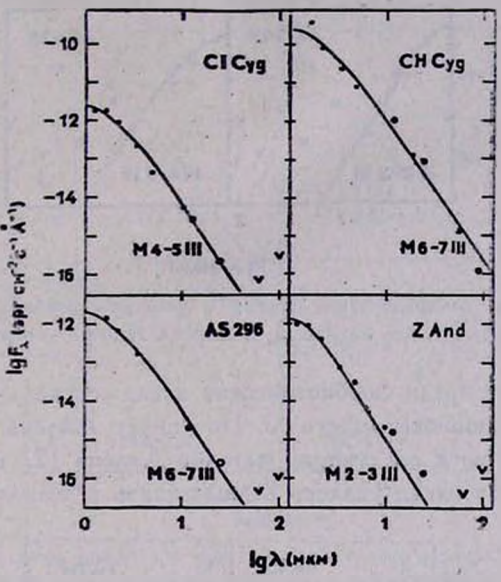

Рис. 1. Типичные распределения энергии в спектрах симбиотических звезд типа S. Точки обозначают потоки излучения по каталогу Гезари и др. [4]. Заполненные кружки — точные наблюдения с IRAS, незаполненные кружки — наблюдения с IRAS более низкого качества, галочки — верхние пределы по IRAS.

Видно, что количество D-звезд возросло в 1.5 раза, а количество D′-звезд — более чем в 4 раза. Общая доля «пыльных» симбиотических звезд около 40%.

В ходе работы выяснилось, что некоторые симбиотические звезды имеют очень холодную околозвездную пыль. Примеры таких объектов представлены на рис. 4. У четырех из этих звезд инфракрасный эксцесс имеет максимумы в области 100 мкм и, следовательно, температура пыли должна быть на несколько десятков градусов выше абсолютного нуля. Отметим, что этот результат может несколько измениться после детального анализа поправок из-за распределения энергии, отличающегося от $F_\lambda \sim \lambda^{-1}$, поскольку при низкотемпературных распределениях в результате исправлений коротковолновые потоки увеличиваются.

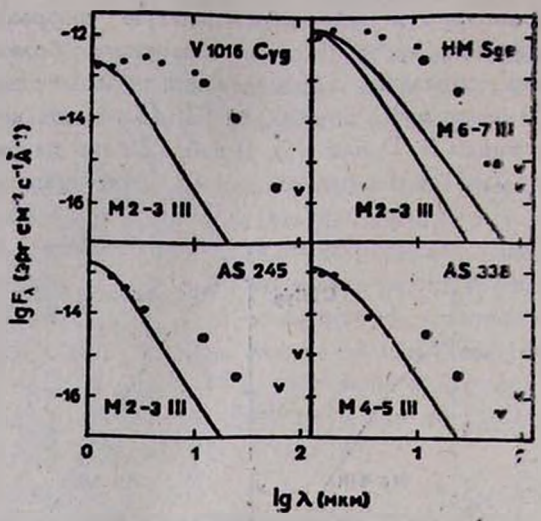

Рис. 2. Типичные распределения энергии в спектрах симбиотических звезд типа D и D′. Обозначения те же, что на рис. 1, нежирная галочка — верхний предел по [4].

Особую группу среди симбиотических звезд составляют звезды, имеющие холодные компоненты класса G. По списку Аллена [1] таких звезд насчитывалось 10, но в следующий каталог Аллена [2] вошло лишь 8 из них. Четыре из этих звезд удалось отождествить с объектами каталога то-

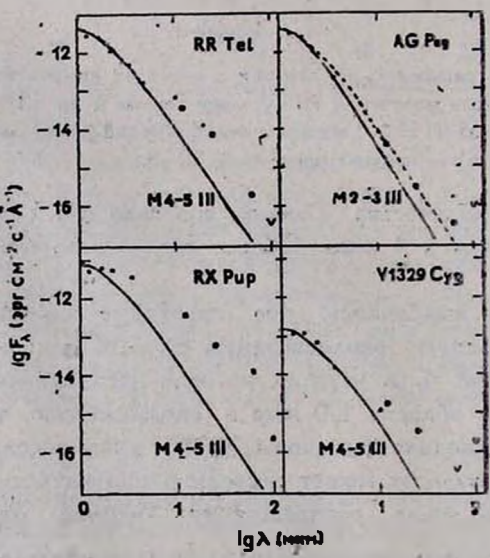

Рис. 3. Распределения энергии в спектрах некоторых хорошо изученных симбиотических звезд. Пунктиром у распределения энергии AG Peg отмечено распределение энергии нормальных звезд класса M4-5III.

чечных источников IRAS. К этой группе принадлежит и HD 330036, имеющая по Аллену (1984) спектральный класс G. Распределение энергии у всех этих звезд весьма похожее (рис. 5). Несомненно, все эти объекты очень интересны: трудно понять, как при температурах G-звезд может существовать сильная пылевая оболочка и каким образом G-звезда может возбуждать эмиссию водорода. Видимо, тут более горячую звезду окружает толстая оболочка, которая дает G-спектр, а из-за сильной разрежен-

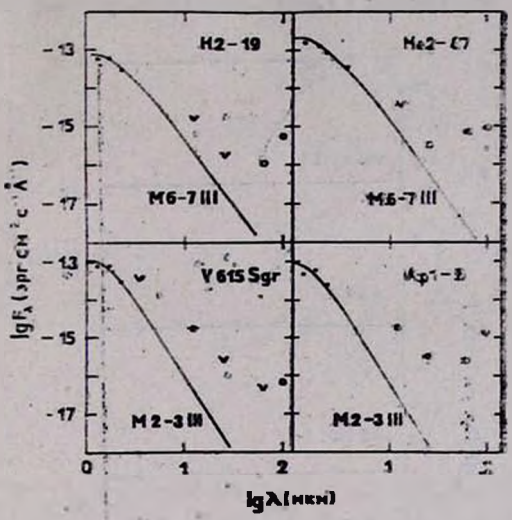

Рис. 4. Распределения энергии в спектрах некоторых симбиотических звезд, показывающие наличие пыли с очень низкой температурой (около нескольких десятков К).

ности во внешних частях могут образоваться эмиссии. Пыль, видимо, существует далеко от звезды. По всей вероятности, в системе имеется красный гигант, который возможно обнаружить лишь в инфракрасном спектре. Можно полагать, что для более детального исследования природы этой группы звезд нужно получить их спектры с дисперсиями около 50—100 А/мм в области 6500—8500 А. Если там обнаружатся полосы TiO, то такие объекты нужно считать особыми симбиотическими звездами, которые следует детально изучить для выяснения механизма возникновения спектра класса G. К сожалению, для решения этого вопроса требуются наблюдения в южном полушарии.

Наконец, рассмотрим положения симбиотических звезд на двухцветных инфракрасных диаграммах. Пересчет потоков в звездные величины проведен по методике, описанной в книге Бейхмана и др. [7]. Проанализированы зависимости величин $J - m_{12}$, $K - m_{12}$, $m_{25} - m_{60}$ и $m_{25} - m_{100}$ от $m_{12} - m_{25}$. Единственной диаграммой, позволяющей сделать некоторые выводы, является $(K - m_{12}) - (m_{12} - m_{25})$ (рис. 6).

На рис. 6 четко выделяется группа звезд типа S при сравнительно малых колориндексах, вверх и вправо от нее расположены звезды спектрального типа D и в верхнем правом углу расположены симбиотические звезды класса G. Отчетливо видно, что звезды, которые нами с некоторой степенью неуверенности отнесены к типу D (Ap 1—8, SS 122, V 455 Sco и V 1329 Cyg), по их положению на диаграмме $(K-m_{12})-(m_{12}-m_{25})$ хорошо совпадают с положением звезд типа D. Сильно отличается от других звезд положение единственной углеродной звезды—UV Aur.

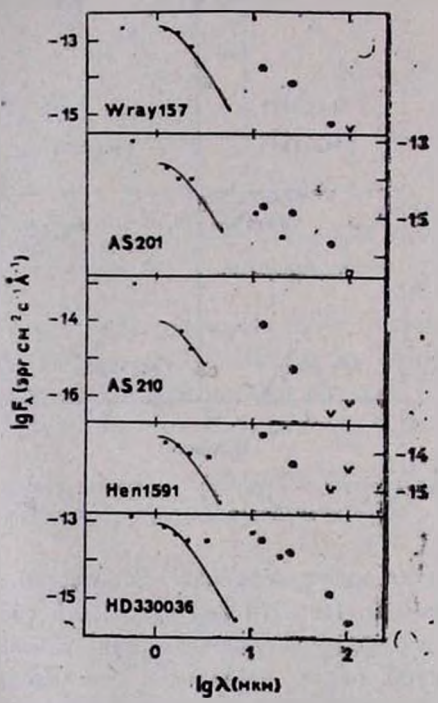

Рис. 5. Распределения энергии в спектрах симбиотических звезд типа G. Непрерывные распределения — гиганты M2—3.

По положению на диаграмме $(K-m_{12})-(m_{12}-m_{25})$ холодные компоненты симбиотических звезд близки к поздним звездам, согласно работе Хакинга и др. [8].

4. *Заключение.* На основе составленного каталога симбиотических звезд, содержащего 72 объекта, отождествленного с источниками каталога IRAS, получены следующие результаты:

1. Показано, что пыль в симбиотических системах более распространена, чем считалось до сих пор. В распределениях энергии 25 звезд, которые

ранее считались свободными от пыли, обнаружено излучение холодной пыли.

2. Обнаружены симбиотические звезды, содержащие пыль с температурой порядка нескольких десятков К.

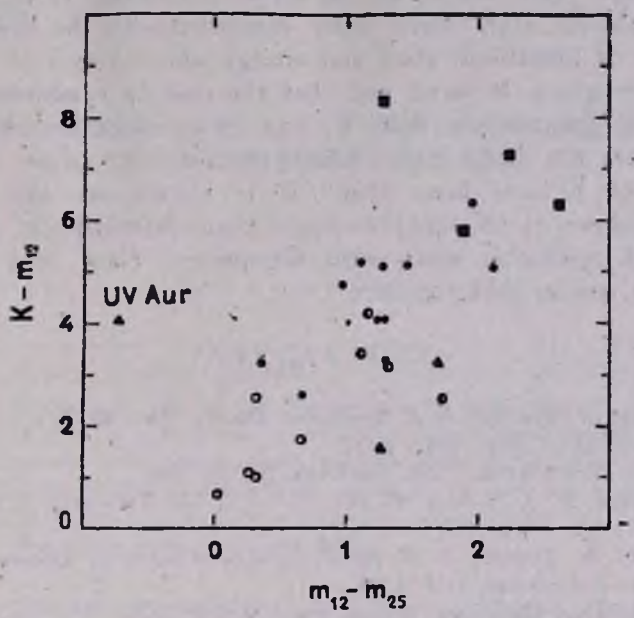

Рис. 6. Двухцветная $(K-m_{12})-(m_{12}-m_{25})$ диаграмма. Кружки — звезды типа S, заполненные наполовину кружки—звезды, неуверенно классифицированные по типам S и D, заполненные кружки — звезды типа D, треугольники — звезды типа D′ и квадраты — звезды типа G.

3. Показано, что единственной двухцветной диаграммой, позволяющей получать распределение симбиотических звезд по типам, является диаграмма $(K-m_{12})-(m_{12}-m_{25})$.

4. Выявлен тип G-симбиотических звезд, который требует специального комплексного изучения.

Авторы благодарны И. Б. Пустыльнику за прочтение рукописи и А. Линнас, Л. Кивиранд и Х. Тургулайнен за помощь при оформлении работы.

Институт астрофизики и физики
атмосферы АН Эст.ССР

SYMBIOTIC STARS OBSERVED FROM THE IRAS SATELLITE

L. LUUD, T. TUVIKENE

Symbiotic stars according to Allen's catalogue have been checked for coincidence with the IRAS far-infrared sources. 72 symbiotic and possible symbiotic stars have been identified with the IRAS sources. A catalogue of identified stars and energy distributions of representative stars are given. It turns out that the dust in symbiotic stars is a more speared phenomenon than it was believed before. Almost 40 % of systems are the dusty ones. Among objects with dust temperature some tens of K have been found. It is shown that the only useful two-color diagram is $(K - m_{12}) - (m_{12} - m_{25})$. Attention is paid at last to a type of symbiotic stars with G spectral class cold component which needs special investigation.

ЛИТЕРАТУРА

1. *D. A. Allen*, in "The Nature of Symbiotic Stars", Eds. M. Friedjung, R. Viotti, D. Reidel Publ. Comp., 1982, p. 27.
2. *D. A. Allen*, Proc. Astron. Soc. Australia, 5, 369, 1984.
3. *G. Neugebauer, H. J. Habing, R. van Duiner et al.*, Astrophys. J. Lett., 278, L1, 1984.
4. *D. Y. Gezari, M. Schmitz, J. M. Mead*, Catalog of Infrared Observations, NASA Reference Publication, 1118, 1984.
5. *L. R. Wackerling*, Mem. Roy. Astron. Soc., 73, 153, 1970.
6. *W. P. Blair, R. E. Stencel, W. A. Feibelman, A. G. Michalitsianos*, Astrophys. J. Suppl. Ser., 53, 573, 1983.
7. *C. A. Beichman, G. Neugebauer, H. J. Habing, P. E. Clegg, T. J. Chester (eds)*, Infrared Astronomical Satellite (IRAS) Catalogs and Atlases Explanatory Supplement, Jet Propulsion Laboratory Publication D-1985, Pasadena, 1984.
8. *P. Hacking, G. Neugebauer, J. Emerson et al.*, Publ. Astron. Soc. Pacif., 97, 616, 1985.