ЛИТЕРАТУРА

1. *G. H. Herbig*, Bull. Lick Obs., 658, 1974.
2. *C. J. Lada, C. A. Gottlieb, M. M. Litvak, A. E. Lilley*, Ap. J., 194, 609, 1974.
3. *K. Y. Lo, M. Morris, J. M. Moran, A. D. Haschick*, Ap. J., 204, L21, 1976.
4. *D. Dickinson, G. Kojoian, S. E. Strom*, Ap. J., 191, L93, 1974.
5. *В. А. Амбарцумян*, Научные труды, т. 2, Изд-во АН Арм.ССР, Ереван, 1960.
6. *K. Y. Lo, B. F. Burke, A. D. Haschick*, Ap. J., 202, 81, 1975.
7. *K. H. Bohm, W. A. Siegmund, R. D. Schwartz*, Ap. J., 203, 399, 1976.
8. *А. Б. Берлин, Н. А. Есепкина, Ю. К. Зверев, А. В. Ипатов, Н. А. Кайдановский, А. Н. Копылов, Э. Н. Коркин, Д. В. Корольков, Н. М. Липовка, М. Минглиев, Ю. Н. Парийский, Н. С. Соболева, А. А. Стоцкий, Г. М. Тимофеева, Л. Н. Черков, О. Н. Шиварев*, Письма АЖ, 2, 405, 1976.
9. *F. M. Olnon*, Ph. D. Thesis, Univ. Leiden, 1977.

УДК 523.821

ФОТОМЕТРИЯ НЕКОТОРЫХ ЭМИССИОННЫХ ЗВЕЗД ПОЗДНИХ ТИПОВ В ДИАПАЗОНЕ 1.47—2.39 МКМ

С помощью инфракрасного фотометра, описанного ранее [1], в Бюраканской астрофизической обсерватории за время с сентября 1978 г. по март 1979 г. были выполнены измерения инфракрасного излучения некоторых эмиссионных звезд поздних типов. Для изучения были отобраны звезды с сильным инфракрасным излучением в диапазоне 1—2 мкм, инфракрасные спектры которых содержат детали, обусловленные ненаблюдаемыми в оптическом диапазоне молекулами.

Список звезд, включенных в программу наблюдений, приводится в табл. 1. Методика наблюдений и использованные фильтры те же, что и в [1]. В качестве стандарта принята звезда α Cyg (K0 III). Измеренные цвета $\{[\nu]-[1.54]\}-\{[\nu]-[1.54]\}_{\alpha\,Cyg}$, исправленные за атмосферное поглощение, приводятся в табл. 2 и на рис. 1. В табл. 3, а также на рис. 1 приводятся цвета исследованных звезд, рассчитанные при предположении, что их излучение происходит по планковскому закону с некоторой цветовой температурой T_c, соответствующей их спектральному классу.

В результате выполненных наблюдений можно отметить следующее:

а) Во всех исследованных звездах видны характерные для гигантов класса M [2] полосы поглощения водяного пара в области длин волн 1.4 и (или) 1.9 мкм.

б) Во всех включенных в программу наблюдений звездах, кроме R Ari, наблюдается влияние полосы поглощения CO на интенсивность излучения на длине волны 2.39 мкм. Наибольшее отношение интенсивности поглощения в полосах CO к H_2O наблюдается у R Cyg. Это звезда с при-

Таблица 1

СПИСОК ИССЛЕДОВАННЫХ ЗВЕЗД

Звезда	Sp	Тип переменности	m_V	Период d	Дата наблюдений	Фаза
T Cep	M5e – M9e	M	5.4 – 11.0	387.79	15/16.09.78	0.03
W Cyg	M4e – M6	SRb	6.8 – 08.9	130.85	19/20.09.78	0.02
R Ari	M3e – M6	M	7.5 – 13.7	186.60	19/20.09.78	0.05
R Cyg	S3, 9e – S6, 8e	M	6.5 – 14.2	426.35	20/21.09.78	0.12
R Del	M5e – M6e	M	7.6 – 13.7	284.88	22/23.09.78	0.98
T And	M3e – M4e	M	7.7 – 14.3	280.19	22/23.09.78	0.13
R Leo	M6, 5e – M9e	M	4.4 – 11.3	312.57	15/16.03.79	0.15

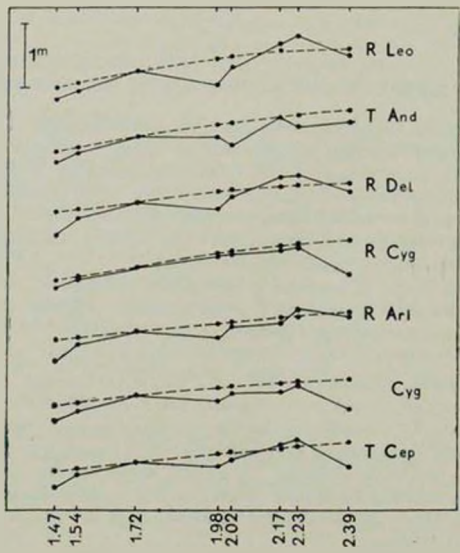

Рис. 1. Измеренные (точки) и рассчитанные (прерывистая линия) цвета $([\lambda]-[1.72])-([\lambda]-[1.72])_{\alpha\,Cyg}$ исследованных звезд. Среднеквадратичная ошибка одного измерения составляет 0^m.05.

Таблица 2

ЦВЕТА $\{[\lambda]-[1.54]\}-\{[\lambda]-[1.54]\}_{\mathrm{Cyg}}$

Звезда \ $\lambda_{\text{мкм}}$	1.47	1.72	1.75	1.98	2.02	2.17	2.23	2.39
T Cep	0.22	−0.20	−0.35	−0.13	−0.23	−0.45	−0.55	−0.17
W Cyg	0.13	−0.27	−0.29	−0.20	−0.33	−0.35	−0.45	−0.10
R Ari	0.28	−0.16	−0.15	−0.10	−0.26	−0.32	−0.49	−0.46
R Cyg	0.19	−0.16	—	−0.34	−0.42	−0.43	−0.52	−0.06
R Del	0.29	−0.25	−0.15	−0.15	−0.32	−0.61	−0.64	−0.42
T And	0.18	−0.31	0.08	−0.32	−0.17	−0.60	−0.47	−0.53
R Leo	0.14	−0.30	—	−0.13	−0.40	−0.74	−0.84	−0.57

знаками S звезды и с повышенным отношением содержания C/O. Значительные различия в отношении интенсивностей полос поглощения CO и H_2O отчасти могут быть обусловлены различными условиями возбуждения, а отчасти — различиями в химическом составе. В частности, для звезды с нормальным химическим составом, то есть $[C/O] < 1$, можно положить:

$$[C/O] \approx \frac{P(CO)}{P(O) + P(CO)}, \tag{1}$$

где P — соответствующие парциальные давления. Из этого следует, что

$$P(CO) \approx \frac{[C/O]}{1 - [C/O]} \cdot P(O). \tag{2}$$

Таблица 3

РАССЧИТАННЫЕ ЦВЕТА $\{[\lambda]-[1.54]\}-\{[\lambda]-[1.54]\}_{\mathrm{Cyg}}$

Звезда \ $\lambda_{\text{мкм}}$	1.47	1.72	1.75	1.98	2.02	2.17	2.23	2.39
T Cep	0.06	−0.13	−0.14	−0.27	−0.29	−0.34	−0.37	−0.41
W Cyg	0.06	−0.12	−0.13	−0.25	−0.26	−0.31	−0.34	−0.37
R Ari	0.05	−0.10	−0.12	−0.22	−0.23	−0.28	−0.30	−0.34
R Cyg	0.07	−0.17	−0.19	−0.35	−0.39	−0.45	−0.48	−0.55
R Del	0.06	−0.13	−0.14	−0.27	−0.29	−0.34	−0.37	−0.41
T And	0.07	−0.17	−0.19	−0.35	−0.38	−0.45	−0.48	−0.55
R Leo	0.08	−0.19	−0.21	−0.39	−0.42	−0.50	−0.53	−0.60

С другой стороны, из условия диссоциативного равновесия находим:

$$P(\mathrm{O}) = \frac{1}{K' K''} \frac{P(\mathrm{H_2O})}{P(\mathrm{H})\, P(\mathrm{H})}, \tag{3}$$

где K', K'' — константы диссоциации молекул H_2O и OH соответственно. Следовательно,

$$\frac{P(\mathrm{CO})}{P(\mathrm{H_2O})} \approx \frac{[\mathrm{C/O}]}{1 - [\mathrm{C/O}]}. \tag{4}$$

Применяя это соотношение к звездам R Cyg и T And, имеющим к моменту наблюдения близкие температуры, находим, в частности, что

$$[\mathrm{C/O}]_{\mathrm{R\ Cyg}} : [\mathrm{C/O}]_{\mathrm{T\ And}} \simeq 2. \tag{5}$$

в) В случае звезд R Del и T Cep наблюдается избыток излучения на длинах волн 2.17 и 2.23 мкм. Одним из возможных объяснений этого избытка может быть излучение в линиях, например в линии Брэкет γ. Интенсивность эмиссии в этой линии можно оценить по формуле:

$$I = \frac{\gamma(T) \cdot 10^{-26} n_e n_+ V}{4\pi} \text{ эрг/с·ср}, \tag{6}$$

где $\gamma(T)$ — множитель, близкий к единице, n_e и n_+ — концентрации электронов и протонов, V — объем оболочки, излучающей в линии Брэкет γ. Эквивалентную ширину линии Брэкет γ можно найти в предположении, что звезда излучает как абсолютно черное тело:

$$\Delta\lambda = \frac{\gamma(T) \cdot 10^{-26} n_e n_+ R^2 \lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)}{6hc^2 r^2}, \tag{7}$$

где r — радиус звезды, а R — радиус эмиссионной оболочки. Полагая $r \approx 10^{13}$ см, а $R \approx 2r$, находим:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 2.5\, \gamma(T) (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)\ 10^{-25} n_e n_+. \tag{8}$$

Используя формулу ионизации

$$n_e n_+ = 2.4 \cdot 10^{15} T^{3/2} \exp(-1.58 \cdot 10^5 T^{-1})\, n_0, \tag{9}$$

нетрудно видеть, что при обычной температуре поверхности красных гигантов даже столь протяженная оболочка ($R \sim 2r$) не может дать заметной эмиссии. С другой стороны, есть основание предполагать наличие в

атмосферах некоторых красных гигантов таких источников ионизации газов, как ударные и магнитогидродинамические волны. Полагая, в частности, скорость ударной волны равной 10—20 км/с, находим:

$$T \approx \frac{m_n V^2}{2k} \approx (0.6 - 2.4) \cdot 10^4 \text{ K}. \qquad (10)$$

Таким образом, ударные волны такой интенсивности вполне могут обеспечить ионизацию водорода. Полагая концентрацию водорода в оболочке $N \approx 10^{12}$ см$^{-3}$, находим, что при $\lambda \approx 2$ мкм, $\Delta\lambda/\lambda \sim 1$ и, следовательно, линейчатая эмиссия в таких оболочках может, в принципе, объяснить избыточное излучение, регистрируемое в некоторых фильтрах.

г) Для одной из наблюдавшихся звезд, а именно R Leo, распределение энергии инфракрасного излучения по длинам волн было получено Вульфом и др. [2] 26 ноября 1963 г., когда фаза этой звезды составляла 0.63. Были получены следующие потоки: на волне $\lambda = 1.60$ мкм — 416 относительных единиц, на волне $\lambda = 2.15$ мкм — 20 единиц, а на $\lambda = 1.98$ мкм — 272 единицы. Используя эти данные, можно найти интенсивность поглощения водяным паром на $\lambda = 1.98$ мкм

$$\Delta m = 2.5 \lg \frac{F(1.98)}{F_0(1.98)} \approx 0^m.40, \qquad (11)$$

где F^0 (1.98) — поток, полученный интерполяцией по $\lambda = 1.60$ и $\lambda = 2.15$ мкм. Сравнивая это значение Δm с нашими данными, приведенными на рис. 1, находим, что наши измерения хорошо согласуются с данными [2], хотя фазы, а следовательно, и эффективные температуры R Leo во время этих наблюдений были различны. В то же время зависимость количества молекул H_2O в атмосфере R Leo от температуры можно оценить из условия диссоциативного равновесия следующим образом:

$$N_{H_2O} \approx \frac{N_o N_H N_e}{K_o K_p} \sim \frac{1}{K_o K_p}, \qquad (12)$$

где N_o и N_H — количества атомов кислорода и водорода соответственно, слабо зависящие от температуры. T_{eff} меняется с фазой примерно от 2000 до 2500 К, а произведение $K_o K_p$ изменяется соответственно на 4 порядка. Следовательно, отсутствие заметного изменения интенсивности полос поглощения H_2O с температурой можно объяснить, по-видимому, только насыщенностью этих полос.

The Photometry of Some Late-Type Emission Stars at 1.47—2.39 μm. The results of IR-observations of 7 emission variables are given. Some properties of observed energy distributions are discussed.

25 июня 1979

Бюраканская астрофизическая обсерватория
Главная астрономическая обсерватория АН СССР

В. З. АВЕТИСЯН
В. В. КИРЬЯН
Ю. К. МЕЛИК-АЛАВЕРДЯН
Г. М. ТОВМАСЯН

ЛИТЕРАТУРА

1. *В. В. Кирьян, Ю. К. Мелик-Алавердян, Г. М. Товмасян, Ю. А. Шахбазян.* Астрофизика, 11, 645, 1978.
2. *N. J. Woolf, M. Schwarzschild, W. K. Rose.* Ap. J., 140, 833, 1964.

УДК 523.8

NEW EMISSION-LINE STARS IN A REGION IN CYGNUS

A IIa-F objective-prism plate obtained on Sept. 17, 1974, with the Byurakan 1 m Schmidt telescope equipped with the 1.5 prism has been searched for emission-line stars. Spectra were widened to 0.1 mm. The plate covers the region $\alpha = 20^h01^m - 20^h21^m$, $\delta = +31°15' - +35°25'$ (1950). Part of the area has been surveyed earlier in the Vatican Emission Star (VES) program [1].

The dispersion of this plate is very low. The whole distance from the red end of the spectrum at about 6900 A to the *K* line is only slightly less than 1 mm. In spite of this, and thanks to the excellent definition on the plate, H_α emission lines could sometimes be clearly distinguished with a magnification of 40X. The emission lines must presumably be fairly strong to be discernible at this dispersion. 27 emission-line stars were found, which to my knowledge were not previously catalogued as such, as were a number of earlier known ones. The new emission-line stars are listed in Table 1.

In many cases previously known H_α-emission stars were not recognized as such. This may be due either to too weak emission, to the star's lying outside the useable magnitude limits, or to variable emission. The latter is probably the reason why many of the new-found stars were not discovered during, e. g., the VES survey.