

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

## АСТРОФИЗИКА

ТОМ 12

МАЙ, 1976

ВЫПУСК 2

### ВЛИЯНИЕ ОКОЛОЗВЕЗДНОЙ ОБОЛОЧКИ НА БЛИЗКИЙ ИНФРАКРАСНЫЙ СПЕКТР $\gamma$ ЛЕБЕДЯ

Т. Е. ДЕРВИЗ

Поступила 10 июля 1975

Пересмотрена 10 сентября 1975

Спектральные наблюдения в области 6500—8300 Å долгопериодической переменной  $\gamma$  Лебедя были проведены в минимуме блеска 1973 г. Получено относительное распределение энергии в спектре звезды в указанной области. По интенсивности полос поглощения V0 проведена спектральная классификация и получена средняя зависимость между показателями цвета V—R и R—I и спектральным типом в течение цикла. На восходящей ветви кривой блеска звезда испытывает значительное покраснение по сравнению со своим спектральным типом, что можно объяснить увеличением околозвездной оболочки в минимуме блеска. Полное визуальное поглощение в оболочке составляет  $Z^m$ .

Особенности спектров долгопериодических переменных в эпоху минимума все еще плохо изучены. Между тем, сейчас сложилось представление, что именно в момент визуального минимума в звезде происходит какое-то событие, которое и вызывает всю дальнейшую последовательность спектральных и фотометрических изменений, наблюдаемых в ее излучении.

С сентября по декабрь 1973 г. на Бюраканской станции АО АГУ в эпоху минимума блеска наблюдалась долгопериодическая переменная  $\gamma$  Лебедя (MSe,  $P=406^d8$ ). Использовался дифракционный спектрограф с преобразователем ФКТ-1 с обратной дисперсией 380 Å/мм. Спектральная область охватывала интервал от 6500 до 8300 Å. Спектры расширялись до 0,3—0,5 м.м. Время экспозиции составляло от 3 до 10 мин. Последующая обработка спектрограмм проводилась на микрофотометре интенсивностей ГАО АН УССР. В табл. 1 приводятся необходимые данные о наблюдениях.

С помощью стандартной звезды были получены исправленные за инструментальную систему кривые распределения энергии  $\gamma$  Лебедя в указан-

Таблица 1

| J. D.   | Фаза | $\sigma_{\gamma}$ | Число спектрограмм |
|---------|------|-------------------|--------------------|
| 2441930 | 0.52 | 13 <sup>m</sup> 1 | 5                  |
| 937     | 0.54 | 13.1              | 4                  |
| 966     | 0.61 | 13.8              | 3                  |
| 2442002 | 0.70 | 3                 |                    |
| 038     | 0.78 | 10.2              | 2                  |

Величины  $\sigma_{\gamma}$  взяты из [1].

ные моменты времени (рис. 1). В качестве стандарта использовалась звезда  $\eta$  Лебеда (K0 III), распределение энергии которой известно [2], а разность зенитных расстояний ее и  $\chi$  Лебеда составляет  $\approx 2.5$ . Спектро-

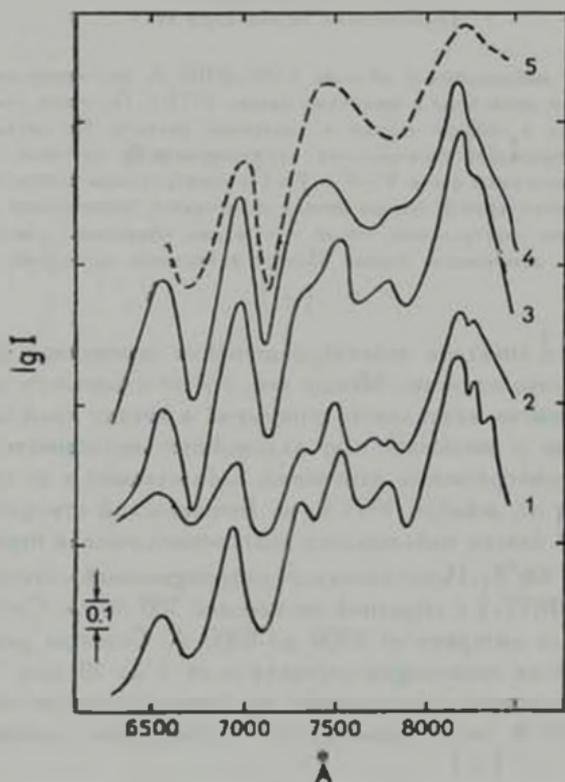


Рис. 1. Распределение энергии в спектре  $\chi$  Лебеда. 1—IX.73 г., 2—X.73, 3—XI.73, 4—XII.73, 5—М6III.

граммы стандартной звезды получались каждую ночь до или после спектрограмм  $\chi$  Лебеда. На рис. 1 кривые сдвинуты по оси ординат и расположены в порядке увеличения фазы. Кривая 1 представляет собой среднее значение для фаз 0.52 и 0.54. Пунктиром показано распределение энергии в звезде типа M6III (самый поздний из известных непременных гигантов), взятое из [2].

В этой спектральной области у  $\chi$  Лебеда нет участков, свободных от молекулярного поглощения, за исключением «эмиссионноподобного» пика у  $\lambda$  8150 Å, который используется для некоторых типов холодных звезд как истинный непрерывный спектр. Однако, у  $\chi$  Лебеда и его положение и интенсивность меняются с фазой из-за наложения более слабых полос. Кривая, относящаяся к фазе 0.61, соответствует моменту визуального минимума блеска звезды. На рис. 1, (кривая 2), видно значительное уменьшение глубины полос и, вследствие этого, кажущееся увеличение температуры по сравнению с соседними фазами. Такое ослабление полос поглощения в спектрах долгопериодических переменных вблизи минимума блеска было обнаружено еще Мерриллом [3]. Наши наблюдения показывают, что ослабление спектра происходит довольно быстро: кривые 1 и 2 получены с интервалом в 30 дней. Через такой же промежуток времени после минимума (кривая 3) ослабления уже не заметно. Отсутствие наблюдений с большим временным разрешением не позволяет пока сказать точнее, достигает ли этот эффект наибольшей величины в момент минимума блеска или несколько сдвигнут по фазе.

*Спектральный тип.* Наблюдаемые в спектре  $\chi$  Лебеда молекулярные полосы представлены в табл. 2. Отождествление проводилось с помощью [4, 5]. В этой области спектра наиболее сильные полосы принадлежат

Таблица 2

| $\lambda$ (Å) | Переход                         | $\nu_1, \nu_2$ |
|---------------|---------------------------------|----------------|
| 6474 ZrO      | ${}^3\Phi_2 - {}^1\Delta_1 R_1$ | 0-0            |
| 6481 ZrO      | " $Q_1$                         | 0-0            |
| 6499 ZrO      | ?-с ${}^1\Sigma$                | 0-0            |
| 6651 TiO      | ${}^3\Delta_2 - {}^3\Pi_2 R_2$  | 1-0            |
| 6681 TiO      | ${}^3\Delta_2 - {}^3\Pi_1 R_2$  | 1-0            |
| 7054 TiO      | ${}^3\Delta_2 - {}^3\Pi_1 R_2$  | 0-0            |
| 7059 TiO      | " $Q_2$                         | 0-0            |
| 7345 VO       | C-система                       | 1-0            |
| 7589 TiO      | ${}^3\Delta_2 - {}^3\Pi_2 R_2$  | 0-1            |
| 7851-7967 VO  | C-система                       | 0-0            |
| 8205 TiO      | ${}^3\Delta_2 - {}^3\Pi_1 R_2$  | 0-2            |

$\gamma$ -системе TiO. Резкий обрыв длинноволнового конца спектра (см. рис. 1) обусловлен началом полосы  $\delta$ -системы TiO с  $\lambda\lambda$  8442 А, 8451 А. Более слабые полосы в области 7300—7400 А и 7800—7900 А относятся к молекуле VO. Эти полосы быстро усиливаются при низкой температуре и при  $T < 2800^\circ\text{K}$  полностью подавляют находящиеся в этой же области полосы LaO [6].

Полосы ZrO  $\lambda\lambda$  6474, 6481, 6499 А хорошо видны на спектрограммах в фазы, предшествующие минимуму. При увеличении температуры они ослабевают. Поскольку  $\chi$  Лебеда известна как звезда спектрального типа, промежуточного между M и S, а наши наблюдения в инфракрасной области свидетельствуют о преобладании M-характеристик в ее спектре, мы не использовали относительно слабые полосы ZrO для спектральной классификации.

Трудности в оценке интенсивности молекулярных полос в спектрах холодных звезд общеизвестны. Следуя [7], мы определяли интенсивность полосы поглощения по отношению к гладкой кривой, соединяющей ближайшие к полосе пики интенсивности. Значения относительной глубины полос, выраженные в звездных величинах,  $\Delta m = 2.5 \lg I_0/I_{\text{полосы}}$  приведены в табл. 3.

Таблица 3

| $\lambda$ (А) | 6681              | 7054              | 7345              | 7900              | Спектр |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| J D           |                   |                   |                   |                   |        |
| 2441930       | 1 <sup>m</sup> 08 | 1 <sup>m</sup> 10 | 0 <sup>m</sup> 29 | 0 <sup>m</sup> 91 | M9.9   |
| 937           | 0.76              | 0.94              | 0.25              | 0.81              | M9.7   |
| 966           | 0.34              | 0.50              | 0.13              | 0.55              | M9.5   |
| 2442002       | 1.29              | 1.28              | 0.06              | 0.65              | M9.4   |
| 038           | 1.12              | 1.27              | 0.03              | 0.32              | M9.3   |

Относительные изменения полос TiO за время, охватываемое нашими наблюдениями, невелики, за исключением ослабления их в момент минимума блеска. Более же слабые полосы VO обнаруживают сильную зависимость от фазы (рис. 2), что свидетельствует об изменении спектрального типа звезды. На рис. 2 также видно, что эти изменения происходят очень быстро: кривые 1 и 2 получены с интервалом в 7 дней. Точно так же ведут себя полосы TiO и VO в спектре  $\chi$  Лебеда в более далекой инфракрасной области ( $\lambda = 1 \text{ мкм}$ ) [7]. Поэтому суммарная интенсивность полос VO была взята нами как индекс спектрального типа и спектральная классификация проводилась в соответствии с зависимостью «индекс молекулярных полос — спектральный тип», полученной в [7] для Me переменных. Нуль-пункт был определен на основании того, что приводимое в [7] и одно из наших наблюдений  $\chi$  Лебеда относятся к одной и той же фазе. Спектраль-

ный тип в соответствующие фазы приведен в табл. 3. Полученные значения отличаются от других оценок спектрального типа [8, 9] не более, чем на половину подкласса. Такое различие в спектральном типе звезды может реально существовать в различных циклах.

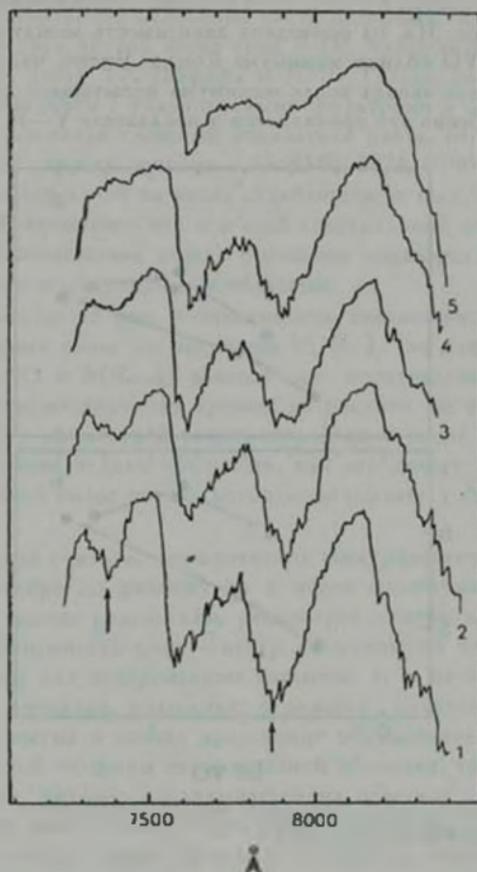


Рис. 2. Изменение интенсивности полос VO  $\lambda\lambda$  7345 и 7850 Å с фазой. 1—4.IX.73, 2—12.IX.73, 3—11.X.73, 4—18.XI.73, 5—22.XII.73 г.

*Зависимость спектр—цвет.* Фазовые изменения цвета для  $\chi$  Лебеда изучены мало, особенно для эпохи минимума. Фотометрические оценки показателей цвета V—R и R—I недавно опубликованы Барисом [11]. Они охватывают фазы от 0 до 0.4 и от 0.8 до 1.0. В [10] приведены данные для R—I по всему циклу. Несколько оценок для фаз 0.7—0.8 получены одно-

временно с нашими наблюдениями на ИК-фотометре АО ЛГУ. Данные разных авторов иногда различаются на  $0^m1-0^m3$ , что вызвано не только ошибками наблюдений, но и различным поведением звезды в разные циклы. Из усредненных кривых, построенных по этим данным, были получены средние значения цветов  $V-R$  и  $R-I$  в фазы, соответствующие нашим наблюдениям. На рис. 3(a, b) приведена зависимость между цветом и интенсивностью полос VO вблизи минимума блеска. Видно, что при одинаковой интенсивности полос звезда после минимума испытывает довольно сильное покраснение. Особенно это проявляется в показателе  $V-R$ .

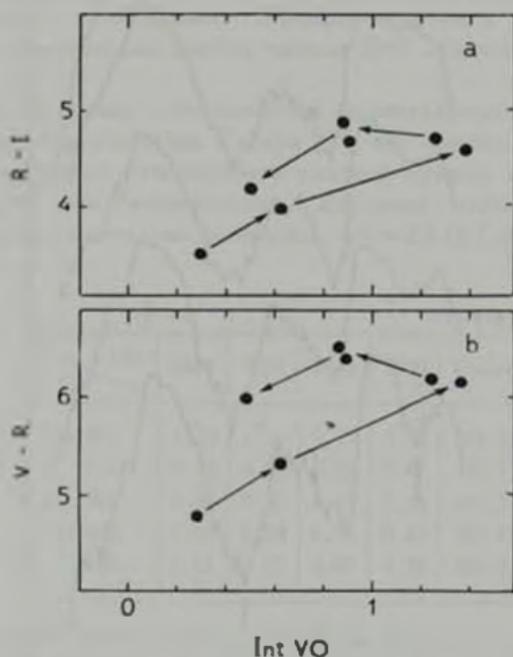


Рис. 3. Зависимость между суммарной интенсивностью полос поглощения VO и цветом  $\chi$  Лебеда в минимуме блеска 1973 г.

Это соотношение между спектральным типом и цветом не является, по-видимому, особенностью отдельного цикла, а сохраняется и при переходе к средним величинам, взятым по нескольким циклам. Средние цвета и спектральные типы по данным [7—9] и нашим позволяют построить среднюю зависимость «цвет—спектральный тип» для почти всего цикла  $\chi$  Лебеда рис. 4 (a, b). При этом, чтобы избежать ошибки, вызванной некоторым изменением периода у звезды, относительные фазы определялись непосредственной привязкой к кривой блеска, и в каждом цикле за 1 принималась реальная величина периода. Сплошной кривой на рис. 4 показана

зависимость Джонсона для непременных гигантов [12]. Стрелка указывает увеличение фазы. Видно, что покраснение сохраняется на всей восходящей ветви кривой блеска. В среднем оно составляет:  $\Delta(V-R) = +1^m0$ ;  $\Delta(R-I) = +0^m5$ .

Следует отметить, что отдельные части подобных «петель» для  $\chi$  Лебеда, а также для двух других звезд типа S (R Андромеды и R Близнецов) и инфракрасных звезд TX Жирафа и NML. Тельца были обнаружены в 1967 г. при наблюдении с узкополосными фильтрами в области 1 мкм [7]. При этом использовался сложный показатель цвета, отражающий распределение энергии между точками с  $\lambda\lambda$  8140, 8834, 9190 и 10400 Å. Хотя полный цикл ни для одной из звезд отнаблюден не был, полученные в этой работе данные показывают, что и в этой спектральной области у  $\chi$  Лебеда наблюдается несоответствие между большими показателями цвета и относительно слабыми молекулярными полосами.

Представленную на рис. 4 зависимость невозможно объяснить влиянием молекулярных полос на величины V, R, I, так как соответствующие поправки  $\Delta(V-R)$  и  $\Delta(R-I)$  зависят от спектрального типа и потому они, хотя и уменьшают крутизну кривых на рисунке, но не устраняют разницу в цвете между одинаковой температурой до и после минимума блеска. По этой же причине нельзя объяснить, как это делает Барис [11], влиянием молекулярных полос петлю, которую описывает  $\chi$  Лебеда на диаграмме V—R, R—I.

Нет оснований считать, что изменения спектрального типа звезды происходят существенно по-разному до и после минимума. Поэтому можно объяснить полученные результаты, рассмотрев изменения цвета. Как видно из рис. 4, зависимость цвет—спектр до минимума хорошо совпадает с кривой Джонсона для непременных гигантов, т. е. на этой стадии цветовые изменения очевидно, полностью отражают изменения температуры. Если около минимума в звезде происходит образование или сильное увеличение оптической толщины околозвездной оболочки, то она может создавать покраснение, которое накладывается на обычное изменение цвета, соответствующее росту температуры после минимума. Косвенным указанием на существование такой оболочки у  $\chi$  Лебеда может служить то обстоятельство, что наибольшей величины несоответствие между очень красным цветом и относительно ранним спектром достигается у NML. Тельца [7], для которой наличие оболочки установлено с несомненностью.

Если в качестве первого приближения принять закон ослабления света в оболочке сходимым с законом для межзвездной среды, то из известных соотношений:

$$E(R-I) = 0.7 E(B-V); \quad A_V = 3E(B-V)$$

с учетом полученных нами избытков следует, что полное видимое погло-

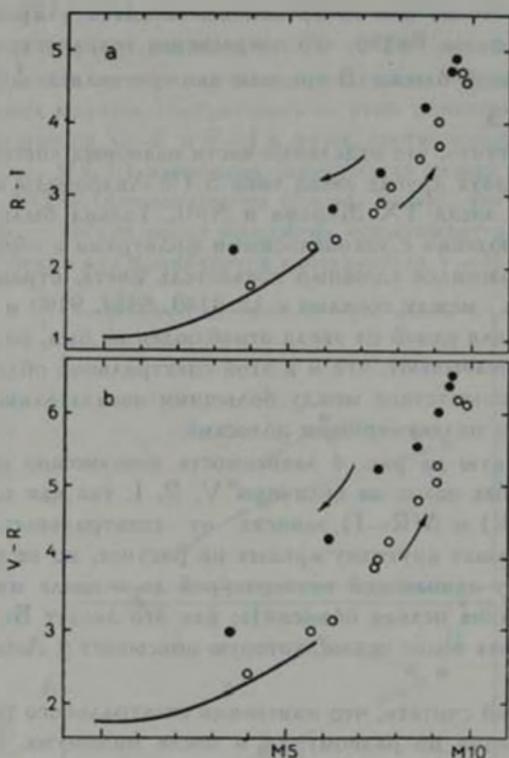


Рис. 4. Средняя зависимость между спектральным типом и цветом  $\alpha$  Лебедя в течение цикла.

шение в оболочке составляет около  $2^m$ . В максимуме блеска покраснение звезды мало,  $E(B-V) = 0^m04$ , и было отнесено целиком за счет межзвездного поглощения [10]. Таким образом, по мере того, как оболочка рассеивается при приближении к максимуму, показатели цвета снова приходят в соответствие со спектральным типом.

Ленинградский государственный  
университет

INFLUENCE OF THE CIRCUMSTELLAR SHELL ON THE  
NEAR-INFRARED SPECTRUM OF  $\gamma$  Cyg

T. E. DERVIZ

Spectroscopic observations in the region of wavelengths from 6500 to 8300 Å of long-period variable  $\gamma$  Cyg have been carried out at minimum light 1973. Spectral classification has been made by using the intensity of VO-bands and the average relation ( $V-R$ , Sp) and ( $R-I$ , Sp) has been plotted for the whole cycle. On the rising branch of light curve ( $V-R$ ) and ( $R-I$ ) colors are redder as compared with the spectral type. This fact can be explained by growth of the circumstellar shell at minimum light. Total visual absorption of shell is about  $2^m$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Observations of Variable Stars, Kapteyn Astronomical Laboratory Report, No. 25, 1974.
2. В Страйхис, Э. Свидерскене, Бюлл. Вильнюсской АО, № 35, 1972.
3. P. W. Merrill, Spectra of Long-Period Variable Stars, Chicago, 1940.
4. Р. Пирс, А. Гейдон, Отождествление молекулярных спектров, ИЛ, М., 1949.
5. A. Gatterer, J. Junkes, E. W. Salpeter, Molecular Spectra of Metallic Oxides Specola Vaticano, 1957.
6. P. C. Keenan, Ap. J., 120, 484, 1954.
7. R. F. Wing, H. Splnrad, L. V. Kuhl, Ap. J., 147, 117, 1967.
8. G. W. Lockwood, R. F. Wing, Ap. J., 169, 63, 1971.
9. S. Wyckoff, Ap. J., 162, 203, 1970.
10. O. J. Eggen, Ap. J., 177, 489, 1972.
11. T. G. Barnes, III, Ap. J., Suppl. ser., No. 221, 1973.
12. H. L. Johnson, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 4, 193, 1966.