

УДК: 524.33+524,352]—36

## ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ХИМСОСТАВА ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД КИСЛОРОДНОЙ И УГЛЕРОДНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Г. В. ХОЗОВ

Поступила 18 ноября 1987

Принята к печати 10 января 1988

Найдены наблюдательные свидетельства различия фазовых зависимостей показателей цвета  $R-I$  для долгопериодических переменных звезд кислородной и углеродной последовательностей.

1. Вопрос об эволюционном статусе углеродных звезд среди многочисленных красных гигантов в настоящее время остается открытым. Представляют ли углеродные звезды обязательную, но кратковременную стадию в развитии красных гигантов различных масс, или же они образуются как особые объекты и эволюционируют к красным гигантам самостоятельным путем?

Известно, что среди углеродных звезд широко представлены различные типы переменности. Переменность же излучения является хорошим индикатором целого ряда физических свойств любой звезды. В связи с этим, принимая, что физические причины переменности таких звезд в той или иной мере должны быть связаны с фазами эволюции, мы поставили себе задачу выявить возможные различия в характере долгопериодической переменности излучения звезд кислородной ( $C/O \leq 1$ ) и углеродной ( $C/O > 1$ ) последовательностей при их сравнительном наблюдательном изучении.

В рамках долгосрочной программы исследования переменности излучения мирид в Астрономической обсерватории Ленинградского университета с 1970 г. проводятся систематические фотометрические и поляриметрические наблюдения свыше 50 объектов, представляющих разные по химическому составу группы из числа M, S, C-звезд. В данной работе приводятся и обсуждаются некоторые результаты выполненных исследований, а именно, существенно различающиеся фазовые зависимости блеска и, особенно, показателей цвета в ближней инфракрасной области спектра

для мирид кислородной и углеродной последовательностей. При сравнительном анализе для ряда звезд использованы средние кривые блеска, полученные нами на основании однородных рядов наблюдений в течение 4—10 циклов периодических изменений.

2. Наблюдения выполнялись одновременно в стандартных спектральных полосах *R11HK* с использованием двух телескопов (0.6 и 0.5 м) Бюраканской станции АО ЛГУ. Аппаратура и методика наблюдений описана в [1—2]. Среднеквадратические ошибки даже в самых неблагоприятных ситуациях (наиболее слабые объекты в минимумах блеска) никогда не превышали  $0.^m1$ . Обычно ошибки наблюдений во всех спектральных полосах составляли  $0.^m02$ — $0.^m03$ . Как правило, в течение всего периода наблюдений объекта использовались одни и те же звезды сравнения.

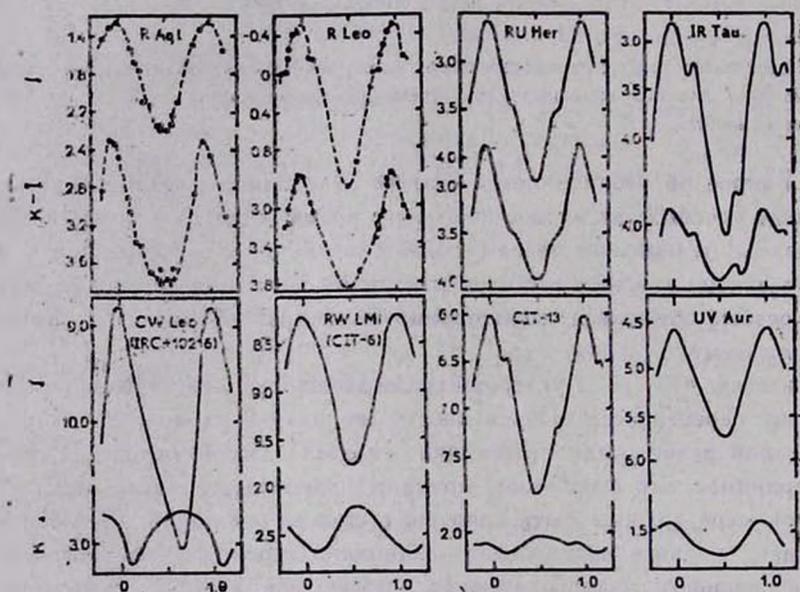


Рис. 1. Фазовые зависимости блеска в спектральной полосе *I* и показателя цвета: *R—I* для звезд кислородной (верхний ряд) и углеродной (нижний ряд) последовательностей.

На рис. 1 приведены фазовые зависимости *I* и (*R—I*) (верхняя и нижняя кривые в каждой секции, соответственно для всех представленных здесь объектов). Для всех звезд на рисунке даны средние кривые блеска за исключением *R Aqi* и *R Leo*, для которых имелись достаточно подробно перекрытые кривые блеска в одном из наблюдавшихся нами циклов. Четыре верхних секции представляют *M*-звезды с различными периодами от

293 до 485 дней, а четыре нижних секции представляют С-звезды с периодами от 393 до 630 дней.

Сопоставление полученных зависимостей для двух групп звезд показывает, что фазовые изменения показателей цвета  $R-I$  для звезд кислородной и звезд углеродной последовательностей имеют разнонаправленный характер. Если по мере уменьшения яркости на фазах 0.00—0.50 в направлении минимума блеска для М-звезд, как обычно, показатель  $R-I$  возрастает (см. верхние секции рис. 1), то в случае С-звезд возрастание показателя прекращается уже на фазах 0.10—0.15 (1) и в дальнейшем он начинает уменьшаться. Минимальное значение  $R-I$  для С-звезд приходится на фазы минимального блеска звезд. Необходимо подчеркнуть, что рост показателя у С-звезд начинается с фазовых моментов 0.55—0.70, то есть значительно раньше, чем у М-звезд, для которых такими фазовыми моментами являются 0.95—0.98. Только в случае UV Aur, данные для которой взяты из работы Худяковой [3], рост показателя цвета  $R-I$  начинается на фазе 0.88, а после наметившегося на фазе 0.13 «максимума» (выразившегося в изломе плавного хода) последовало дальнейшее незначительное (примерно на 0<sup>m</sup>1) увеличение  $R-I$ , что сделало фазовую зависимость напоминающей соответствующие зависимости для М-звезд. Однако известно, что углеродная мирида в этом объекте входит в состав тройной системы, суммарное излучение компонентов которой регистрируется нами обычно при наблюдениях с рабочей диафрагмой в 21". Это может быть причиной «искажения» фазовой зависимости показателя цвета  $R-I$ , характерной для углеродной мириды.

Аналогичный ход с фазой показателей цвета для различающихся по химсоставу звезд демонстрирует и рис. 2, где верхние секции представляют М-звезды,  $\chi$  Sug относится к S-звездам, а в трех нижних секциях приводятся зависимости показателей  $R-I$  от блеска объекта в спектральной полосе  $I$  для углеродных звезд. Здесь в каждом случае данные наблюдений отражают фазовый ход показателя в течение одного цикла периодических изменений блеска.

Отмеченный выше характер поведения инфракрасных показателей цвета в случае углеродных звезд находит свое подтверждение и в результатах нашего анализа  $RI$  наблюдений Бэрнса [4], где, хотя и по ограниченному числу данных, можно проследить подобную тенденцию фазового поведения показателей  $R-I$  для ряда других углеродных долгопериодических переменных звезд.

3. Результаты  $RI$ -наблюдений свидетельствуют о широкой распространенности такого «необычного» фотометрического поведения  $R-I$  с фазой среди углеродных долгопериодических переменных. «Необычность» здесь заключается в том, что, придерживаясь температурных калибровок Эгге-

на [5], Мендозы и Джонсона [6], Берга и др. [7], при таком поведении показателей цвета мы должны были бы говорить о повышении температуры рассматриваемых здесь углеродных мирид в моменты минимального блеска, что противоречит принятым представлениям о фазовых изменениях температур долгопериодических переменных, по крайней мере из числа кислородных звезд.

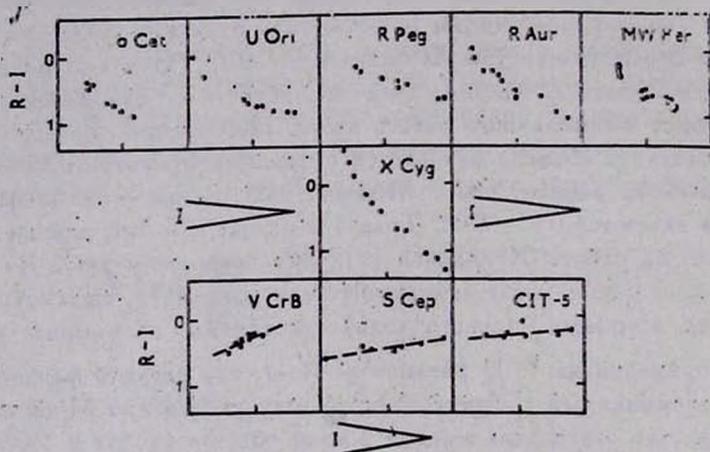


Рис. 2. Зависимости показателя цвета  $R-I$  от блеска звезды на нисходящих ветвях кривых блеска для звезд кислородной (верхний ряд) и углеродной (нижний ряд) последовательностей. В центре — циркониевая звезда  $\chi$  Cyg.

Сказанное выше хорошо иллюстрирует рис. 3, где фазовые зависимости показателя  $(R+I)-2I$ , на основе которого производилась температурная калибровка в работе [7], имеют совершенно различный ход для NML Tau (M-звезда) и для углеродной звезды RW LMI (CIT 6).

Какие выводы можно сделать из отмеченного выше различия наблюдаемых поведений инфракрасных показателей цвета с фазой у звезд кислородной и углеродной последовательностей?

Прежде чем делать выводы, кратко остановимся на основных физических явлениях, лежащих в основе переменности звезд поздних спектральных типов. Исходя из современных представлений о механизмах переменности излучения красных гигантов, следует отметить четыре из возможных и безусловно взаимосвязанных причин наблюдаемых изменений блеска и показателей цвета: изменение размеров (пульсации) излучающей поверхности, изменение температуры излучающей поверхности, фазовые изменения интенсивности поглощения в линиях и молекулярных полосах ( $TiO$ ,  $VO$ ,  $ZrO$  в M и S-звездах и  $C_2$ ,  $CN$ ,  $CO$ —в углеродных звездах), а также циклические изменения концентрации и размеров пылевых частиц в околосредных оболочках. Очевидно, что каждый из указанных механиз-

мов по-разному проявляется в различных участках спектра. Наиболее резко выраженный селективный характер имеют циклические изменения интенсивности поглощения в линиях и молекулярных полосах. Анализируя характер переменности и вклады различных механизмов в наблюдаемые изменения блеска и цвета звезд—красных гигантов, относящихся к различным спектральным типам, можно разделить причины переменности на

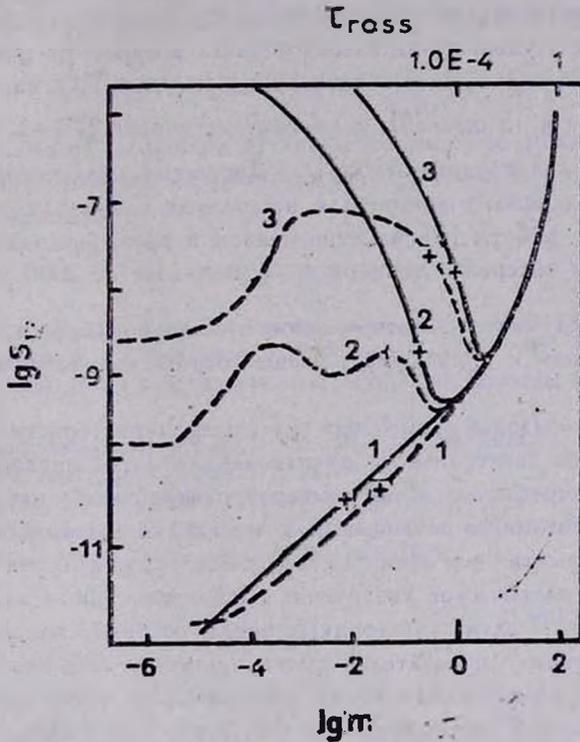


Рис. 3. Фазовые зависимости  $(R+I) - 2I$  для NML Tau (M-звезда) и CIT 6 (C-звезда).

общие для всех типов звезд и специфические для звезд каждой из последовательностей. Изменения размеров излучающей поверхности и ее температуры характерны для всех звезд-мирид, независимо от спектрального типа. Их суммарное проявление имеет одинаковую направленность и если и отличается, то только по величине. Что касается циклических изменений прозрачности внешних атмосферных слоев звезды, связанных с поглощением в молекулярных полосах, то здесь картина переменности будет существенно различаться, так как в звездах, принадлежащих к разным последовательностям, в образовании непрозрачности в пределах рассматри-

ваемых спектральных диапазонов играют роль различные группы молекул, свидетельствующие о различии химического состава. Так, в звездах кислородной последовательности — главным образом  $\text{TiO}$ ,  $\text{VO}$ ,  $\text{ZrO}$ , а в углеродных звездах —  $\text{C}_2$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{CO}$ . А поскольку поглощение по-разному проявляется в пределах различных спектральных диапазонов, стало быть и поведение одних и тех же показателей цвета, в частности  $R-I$ , с изменением температуры будет существенно различаться. Конечно, все это при условии, что изменение поглощения в том или ином участке спектра дает заметный вклад в уменьшение блеска объекта в одном из цветов. Величина ослабления только за счет поглощения в полосах  $\text{TiO}$ , согласно наблюдениям Смака и Уинга [8], в цвете  $R$  достигает  $1^{\text{m}0}$ — $1^{\text{m}5}$ , а в цвете  $I$  —  $0^{\text{m}3}$ — $0^{\text{m}5}$  для поздних М-звезд. Депрессия излучения в пределах этих же спектральных участков для нескольких С-звезд, которые наблюдались авторами работы [8], заметно меньше и примерно одинакова в этих двух цветах для интервала температур в диапазоне от 2000 до 3000 К.

4. Основные выводы, которые могут быть сделаны по результатам наших наблюдений и приведенного выше обсуждения, сводятся к следующему.

Во-первых, фазовые изменения цветовых характеристик в пределах рассматриваемого спектрального диапазона для звезд кислородной последовательности определяются как температурными колебаниями, так и циклическими изменениями поглощения в молекулярных полосах  $\text{TiO}$ . При этом эффекты, вызванные этими механизмами, складываются и усиливают наблюдаемое периодическое увеличение показателей цвета на фазак минимального блеска. В случае углеродных звезд, особенно поздних, в наблюдаемых изменениях показателей цвета основную роль играет механизм, связанный с фазовыми изменениями интенсивности полос поглощения  $\text{CN}$  (полоса 1,0 красной системы вблизи 0,9 мкм). Здесь эффекты, вызываемые разными механизмами, компенсируют друг друга и в зависимости от их соотношения могут вызывать наблюдаемые фазовые проявления противоположного знака.

Во-вторых, разработанные температурные калибровки [5—7] на основе наблюдаемых показателей  $R-I$  и скомбинированных  $(R+I)-(J+K)$  и  $(R+I)-2J$  в случае углеродных звезд либо неприменимы (что более вероятно), либо, если и представляются имеющими смысл, то в весьма ограниченном интервале температур для сравнительно ранних С-звезд. Учитывая, что в полосе  $I$  заметное влияние оказывает поглощение  $\text{CN}$ , а в полосе  $K$ — $\text{CO}$ , эти цвета не могут быть использованы при температурных калибровках, по крайней мере для углеродных звезд. Возможной альтернативой может быть температурная калибровка, основанная на за-

зависимости эффективной температуры от наблюдаемых показателей цвета  $R-I$  и  $R-H$ .

Ленинградский государственный  
университет

## THE PHOTOMETRIC DISPLAY OF THE CHEMICAL ABUNDANCE IN OXYGEN-RICH AND CARBON-RICH LONG PERIOD VARIABLES

G. V. KHOZOV

Observational evidences of the differences in phase dependence of  $(R-I)$  colour index for oxygen-rich and carbon-rich long period variables are considered.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Хозов, в об. «Новая техника в астрономии», вып. 4, 45, 1972.
2. В. М. Ларионов, В. П. Пахальник, Г. В. Хозов, Тр. АО ЛГУ, 40, 42, 1985.
3. Т. Н. Худякова, Науч. инф. Астрон. сов. АН СССР, Звездное, Рига, вып. 56, 1984, стр. 139.
4. T. G. Barnes, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 25, 221, 369, 1973.
5. O. J. Eggen, *Astrophys. J.*, 165, 317, 1971.
6. E. E. Mendoza, H. L. Johnson, *Astrophys. J.*, 141, 161, 1965.
7. J. Bergeat, M. Lunel, F. Sibille, J. Lefevre, *Astron. and Astrophys.*, 52, 263, 1976.
8. J. Smak, R. F. Wing, *Acta Astron.*, 29, 187, 1979.