

УДК 524.336-54

Л. С. Кудашкина

Одесский государственный университет им. И. И. Мечникова

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗД ТИПА МИРЫ КИТА

На основі сучасних досліджень зірок типу Міри Кита та оригінальної методики обробки кривих блиску, показано, що спостережасний період не є основною характеристикою зорі типу Міри. Зірки виділені в кілька груп з середніми кривими блиску, які еволюційно змінюються.

На основе современных исследований звезд типа Миры Кита и оригинальной методики обработки кривых блеска показано, что наблюдаемый период не является основной характеристикой звезды типа Миры. Звезды выделены в несколько групп с эволюционно меняющимися средними кривыми блеска.

On the base of the modern investigations of the Mira-type stars and original methods of the light curve treatment, it has been showed that the observational period is not the fundamental characteristic of the Mira-type star. The stars are subdivided into several groups. The variation of the mean light curves depends on the evolution.

Введение. Основные наблюдаемые характеристики звезды – спектр, цвет, светимость – зависят от ее массы, возраста и химического состава. Только что сформировавшаяся звезда имеет одинаковый по всему радиусу химический состав. Со временем ее внутренняя структура изменяется, что связано с выгоранием в звезде ядерного топлива. Изменяются и наблюдательные характеристики – температура, светимость. На рисунке 1 изображена схема диаграммы Герцшпрунга – Рассела для проэволюционировавших звезд одного возраста. Положение на главной последовательности (ГП) зависит от начального содержания гелия (Y) и тяжелых элементов, в основном – металлов (Z). У звезд не очень больших масс (0.8–1.4 солнечных) после выгорания водорода в центре образуется гелиевое ядро, а ядерные реакции горения водорода перемещаются в верхние слои звезды. Звезда становится последовательно субгигантом и красным гигантом. Звезды одинакового возраста, но разных масс образуют на этой стадии ветвь гигантов (ВГ). В этой области звезды живут не долго, $\sim 10^8$ лет при массе порядка солнечной. У них в центре в конце концов загорается гелий и они перемещаются на горизонтальную ветвь (ГВ). После того, как в центре выгорит гелий, образовав углеродно-кислородное ядро, реакции переместятся в слой вокруг ядра, где гелий еще сохранился, а в более высоких слоях продолжается горение водорода. На этой стадии звезды вновь превращаются в красных гигантов, образуя на диаграмме Герцшпрунга – Рассела асимптотическую ветвь гигантов (АВГ).

Точка поворота при данном t , и вся изохрона в целом, сильно зависят от Z и Y . Положение ветви гигантов также зависит от t , Y и Z . Положение ГВ слабо зависит от возраста, зато очень чувствительно к начальному содержанию гелия [1].

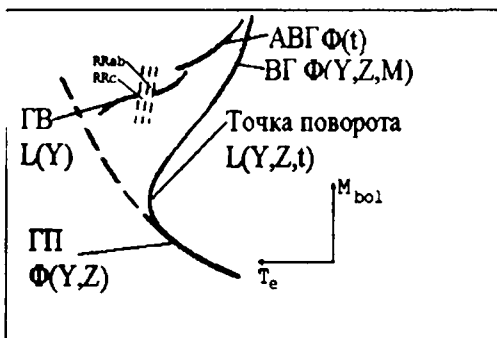


Рис.1. Участок диаграммы Герцшпрунга – Рассела.

Большинство пульсирующих звезд находятся на стадиях красных гигантов ВГ или АВГ.

Исследования пульсирующих переменных звезд – традиционная тема одесских астрономов. В последней половине века исследования физических переменных звезд послужили темами 14 защищенных кандидатских диссертаций аспирантов Одесского университета [2].

Отметим здесь работы, непосредственно касающиеся нашей. Прежде всего, это диссертационная работа Стрелковой Э.П. "Исследование изменения пока-

зателей цвета долгопериодических переменных звезд типа Миры Кита" (1956). Основные результаты этой работы изложены в статье "Показатели цвета 13 долгопериодических переменных звезд типа Миры Кита" [3]. Уже из этой работы видно насколько сложно провести классификацию звезд типа Миры, используя небольшое число признаков (например, период, экстремумы и показатели цвета). Выделены четыре типа изменений показателя цвета относительно кривой блеска. Однако, у отдельной звезды на протяжении нескольких циклов изменения блеска могут встречаться практически все эти типы. Приведем распределение звезд по типам изменения показателя цвета (таблица 1).

Таблица 1

I	II	III	IV	IV*
RT Cyg TU Cyg Z Cyg R Cyg R Aql T UMa	T Her X Cam X Oph R Vul SS Lyr XZ Her V Boo	R UMa X Cam T Cas V Cas SV Her T UMa RY Her	RT Cyg TU Cyg RY Oph	R Dra TU Cyg Z Cyg W Lyr SV Her

-к-

Типы IV и IV* характеризуются двумя волнами показателя цвета за один цикл колебания блеска и различаются между собой сдвигом максимума показателя цвета на $1/8$ периода относительно экстремумов блеска.

Вторая фундаментальная работа, которую мы здесь отметим, была защищена в 1977 году А.Г. Нудженко: "Изменяемость периодов долгопериодических переменных звезд". Основные результаты были опубликованы в статье "Исследование О-С диаграмм звезд типа Миры Кита" [4]. Всего было исследовано 238 звезд типа Миры. Рассмотрены зависимости $|\Delta P/P|$ от P , ΔE от P и $|\Delta P/P|$ от ΔE , где P – период звезды, ΔP – среднее значение изменения периода, ΔE – интервалы эпох, на протяжении которых звезда сохраняла постоянный период. Основной вывод работы: что ΔE уменьшается с возрастанием периода и что звезды более короткого периода сохраняют период постоянным на протяжении большего числа циклов.

Продолжая традицию исследования долгопериодических переменных звезд в астрономической обсерватории Одесского университета, мы делаем попытку провести детальную классификацию звезд типа Миры Кита, используя накопленный материал и собственные статистические исследования.

1. Соотношения между Фурье-коэффициентами средних кривых блеска звезд типа Миры Кита. Используя наблюдения членов AAVSO, получены средние кривые блеска 62 звезд типа Миры Кита. Методика обработки наблюдений и построения средних кривых подробно описана в [5]. Там же приводятся численные значения коэффициентов кривой аппроксимации тригонометрическим полиномом (то есть, коэффициентов средней кривой блеска мириды). Вычисление корреляций между этими коэффициентами показало, что существуют зависимости амплитуды, фазы и крутизны ветвей кривой блеска от периода, а также зависимости между самими этими параметрами. Из вычисленных 300 коэффициентов корреляции для 61 отношение $r/\sigma > 3$. [6].

Анализ этих зависимостей показал, что звезды разделяются на группы. В каждой из этих групп можно расположить звезды по возрастающему значению периода. Однако, предварительное деление мирид на группы только на основании возрастания периода [7, 8] является не рациональным. При классификации мирид за "нуль-пункт" можно выбрать, пожалуй, только спектральный класс. Заметим, что у мирид от максимума к минимуму и от цикла к циклу спектральный класс может меняться на

6 подклассов и более. Существует четкая зависимость между средними значениями спектрального класса и периодом: с возрастанием периода спектр становится более поздним. Следовательно, за начальную гипотезу можно принять то, что маленькими периодами падают звезды, более ранние по эволюционному статусу, а вычисленные для них Фурье-коэффициенты кривой блеска считать характерными для ранних объектов. Это заключение касается только звезд внутри выделенной группы, поскольку, например, звезды разных населений имеют разные периоды для одного и того же эволюционного статуса. На рисунках 2 и 3 показаны средние кривые для звезд одной из выделенных нами групп. Все параметры (Фурье-коэффициенты) этих кривых затабулированы и даны в работе [5].

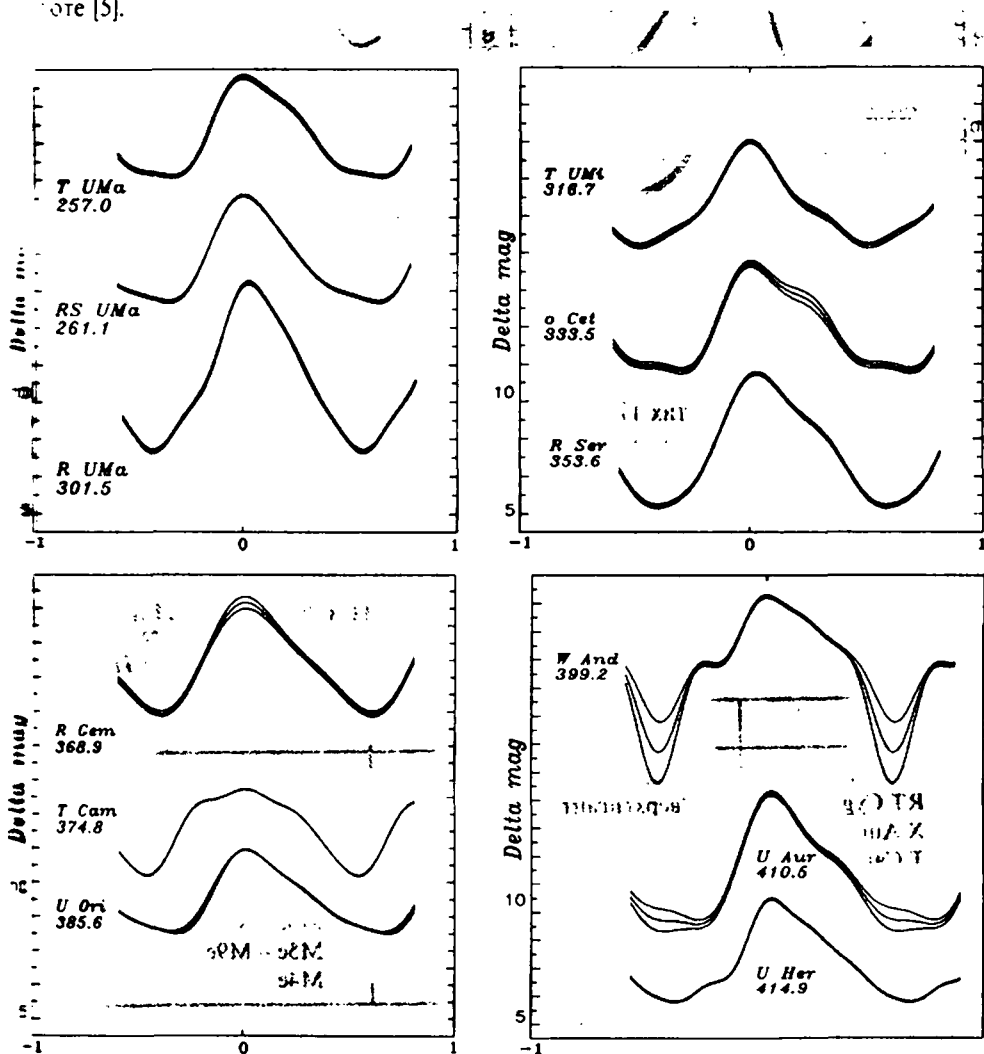


Рис. 2. Средние кривые блеска звезд типа Миры Кита.

Эти звезды подробно описаны в работе [9]. Отметим здесь, что все они являются миридами очень поздних спектральных классов (позже M6). Шесть звезд из 18 являются циркониевыми. Анализ зависимости формы кривой блеска от периода показывает, что для всех этих мирид форма кривой блеска обладает сильной асимметрией и практически уже не зависит от периода. Для всех 18 звезд характерно присутствие горбов или двойных максимумов. Амплитуды (в том числе и Фурье-амплитуда главной волны кривой блеска) велики и достигают 9^m для χ Лебедя и 11^m для W Андромеды. Предполагается, что звезды данной группы находятся на заключительной стадии

мириды и приближаются к наиболее вероятной для них заключительной стадии – планетарной туманности.

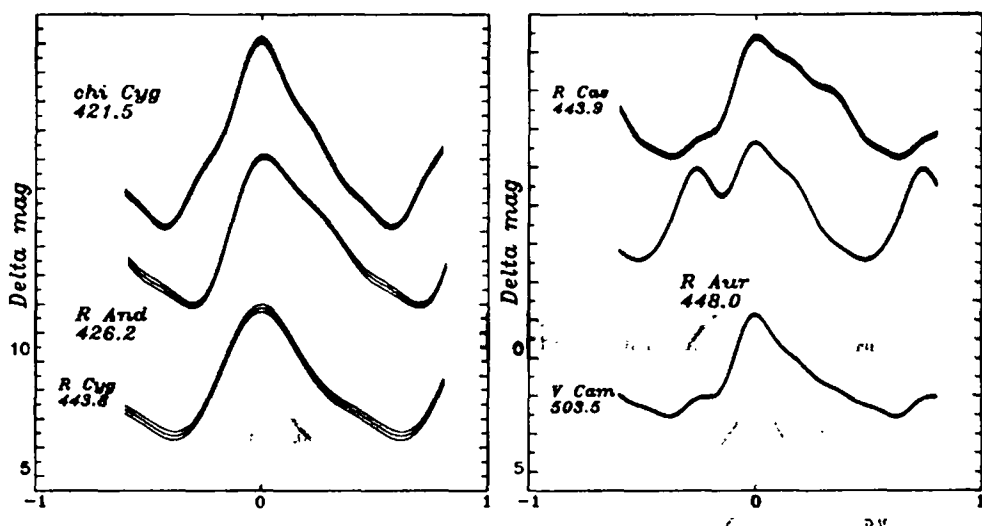


Рис. 3. Средние кривые блеска звезд типа Миры Кита.

Интересно отметить еще одну группу звезд, которые мы условно назовем “промежуточными” (П-звезды). Для этих 17 звезд амплитуда главной волны кривой блеска меньше, чем для всех остальных при тех же значениях периода. Исключение составляют только 8 малоамплитудных углеродных мирид. Среди этих 17 объектов выделяются звезды с очень изменчивой формой кривой блеска и периодом. Они даны в таблице 2. Из цикла работ по исследованию индивидуальных кривых блеска на протяжении длительного времени [10, 11] видно, что у этих звезд присутствует вековое изменение периода, или тренд, сопровождающийся изменением средней амплитуды.

Таблица 2

Звезда	Особенности	Спектральный тип
W And	S – мирида, $D_m \sim 11^m$	S6.1e – S9.2e
RT Cyg	Сверхгигант	M2e – M8.8elb
X Aur	Пульсация в 1 оберт.?	M3e – M6e
T Cam	S – мирида	S4.7c – S8.5e
S UMi	Двойной максимум?	M6e – M9e
T Cas	Двойной максимум	M6e – M9.0e
R Aql	Стадия гелиевой вспышки	M5e – M9e
U CMi	Двойной максимум	M4e

Можно предположить, что звезды из таблицы 2 испытывают первую гелиевую вспышку или же находятся на стадии двойного слоевого источника. Например, звезды X Aur, U CMi, вероятно, только недавно пришли на АВГ, а звезды T Cam и особенно W And уже давно находятся на АВГ и могут испытывать многократную вспышку в слоевом источнике.

Выводы. На основе статистического изучения кривых блеска звезд типа Миры Кита: 1) получен атлас средних кривых блеска 62 мирид; 2) предлагается набор фотометрических параметров для классификации мирид [5]. На основе проведенного корреляционного анализа: 1) найдены зависимости между Фурье коэффициентами кривой блеска, спек-

тальным классом и периодом [9]; 2) звезды разделены на группы согласно их эволюционному статусу.

Всего выделено: 5 групп звезд из анализа зависимостей " $R_1 - \lg(P)$ ", " $\lg(m_1) - \lg(P)$ ", " $\lg(t_1) - \lg(P)$ ", где R_1 – амплитуда главной волны средней кривой блеска, период, $m_1 = dm(t)/dt$ – параметр крутизны восходящей ветви, $t_1 = dU/dm$ – возрастание блеска на 1 звездную величину; 2 последовательности звезд, связанных с абсолютной фотометрической звездной величиной (одна последовательность сдвинута относительно другой в сторону больших светимостей); 8 звезд имеют индивидуальные особенности – S UMa, V Cyg вероятно принадлежат к населению II, R Vir, X Aur, S Boo – скорее всего трансформируют не в фундаментальной моде, RT Cyg и W Lyr – сверхгиганты, X Oph – известная спектрально-двойная [9].

- 1 Марочник Л. С., Сучков А. А. Галактика. – М.: Наука, 1984. – гл.1. – С.26–33.
- 2 Страницы истории астрономии в Одессе. Сборник. – Одесса, 1996. – ч.3. – С.19–20.
Стрелкова Э. П. Показатели цвета 13 долгопериодических переменных звезд типа Миры Кита // Перем. Звезды. – 1956. – Т.11, № 2. – С.65–110.
- 4 Нудненко А. Г. Исследование О-С диаграмм звезд типа Миры Кита // Перем. Звезды. – 1974. – Т.19, № 4. – С.381–399.
- 5 Kudashkina L. S., Andronov I. L. Fourier coefficients for the light curves of 62 Mira-type stars // Odessa Astron. Publ. – 1996. – V.9. – P.108–111.
- 6 Kudashkina L. S., Andronov I. L. Correlations between characteristics of the mean light curves of longperiodic variables // in: Variable Stars: New frontiers. Abstracts. – 1997. – Sion, Switzerland. – P.19.
- 7 Статистические зависимости между фотометрическими параметрами звезд типа Миры Кита по данным Общего Каталога Переменных Звезд / Кудашкина Л. С.; Одес. Ун-т. – Одесса, 1990. – 19 с. – Рус. Дсп. в УкрНИИНТИ 20.08.90, №1368 – Ук90.
- 8 Кудашкина Л. С., Андронов И. Л. О возможной зависимости между фотометрическими параметрами AGB – звезд и их эволюционным статусом // Кинем. и Физ. Неб. Тел. – 1994. – Т.10, № 1. – С.41–44.
- 9 Kudashkina L. S., Marsakova V. I. The analysis of the relationships between the photometric parameters of the mean light curves of the long-periodic variable stars. I. The Fourier-amplitude – period relationship and the relations between the parameters of the sharpness of the light curve and period for Miras // in press.
Andronov I. L., Marsakova V. I. Phase curve changes and hump in U Her // Astrophys. Space Sci. 1998. – V.257. – P.49–61.
Marsakova V. I., Andronov I. L. Local fits of signals with asymptotic branches // Odessa Astron. Publ. 1996. – V.9. – P.127–130.