

## ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗБРАННЫХ ОДИНОЧНЫХ, ДВОЙНЫХ И КРАТНЫХ ЗВЕЗД ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА 1.5-М КАЗАНСКОМ ТЕЛЕСКОПЕ РТТ150

© А.И.Галеев, Р.Я.Жучков, Д.В.Иванова, С.А.Позднякова

В работе представлены результаты исследований звезд различных типов, проводившихся на Российско-Турецком телескопе КГУ. Анализ фотометрических и спектральных наблюдений позволил получить параметры атмосфер и установить эволюционный статус переменной типа RR Лиры V1327 Орла, пяти звезд типа  $\delta$  Щита, катаклизмических переменных V477 Лиры и VE Большой Медведицы, а также тройной системы звезд HD 222326.

Определение и исследование характеристик звезд является важнейшей задачей астрофизики, так как на основе достоверно известных параметров рассчитываются модели звездных атмосфер, определяется химический состав звезд, делаются выводы об их эволюционном состоянии, описываются процессы, происходящие в системах звезд. Наиболее полную информацию о фундаментальных параметрах звезд и процессах, осуществляющихся внутри и вокруг них, удается получать при изучении пульсирующих, двойных и кратных звезд [1, 2].

Сложный механизм пульсаций, с одной стороны, позволяет легко обнаруживать нестационарность звезд и рассчитывать основные их характеристики (массы, радиусы). Но при этом происходит перемешивание звездного вещества, что усложняет задачу определения их химического состава и возраста. Основными объектами для этих исследований являются классические цефеиды, а также звезды типа RR Лиры и  $\delta$  Щита [3]. Применение современных инструментов и передовых методов исследования позволяет открывать все более далекие объекты этих групп.

Наиболее сложны явления, происходящие в тесных двойных системах, компоненты которых непосредственно взаимодействуют и влияют друг на друга. Зная механизмы возникающих там процессов, удастся определить большой набор параметров, описывающих состояние системы. В результате строятся достоверные модели эволюции двойных систем, позволяющие рассматривать отдельные стадии развития как одиночных, так и двойных звезд. К примеру, на кафедре астрономии КГУ в течение последних лет получено много новых данных о катаклизмических и предкатаклизмических переменных (к примеру, см. [4]). Такие системы состоят из белых карликов (главных компонент) и звезд поздних спектральных классов главной последовательности (вторичных компонент). Важно, что у исследуемых объектов имеется возможность регистрации

излучения от каждой из входящих в них компонент. А это позволяет определять физические параметры как белых карликов, так и звезд главной последовательности. Вместе с этим в ряде случаев изучение двойных и кратных систем сопряжено со значительными трудностями, когда невозможно получить информацию о компонентах по отдельности и приходится довольствоваться фотометрическими или спектроскопическими наблюдениями системы как целого. Однако даже в случае двухкомпонентного спектра мы имеем не менее 10 свободных параметров, а в системах большей кратности параметров – еще больше. Эта задача некорректна в физическом смысле, и для ее решения необходимо уменьшать количество свободных параметров, постепенно и разными методами определяя их на всех этапах обработки и интерпретации спектров.

Любые астрофизические данные получают посредством наблюдений на телескопах с использованием современной приемной аппаратуры. В настоящее время наиболее передовые методы исследования звездных атмосфер основываются на спектроскопических наблюдениях, выполняемых на крупных оптических телескопах с помощью стационарных спектрографов высокого разрешения. Так, данное исследование базируется на высокоточных наблюдениях, проведенных в последние годы на 1.5-м казанском телескопе РТТ150 (Турция) и крупнейшем в Европе 6-м телескопе БТА (Специальная Астрофизическая обсерватория РАН). Телескоп РТТ150 оснащен хорошими приемниками излучения (ПЗС-камеры) и большим стационарным кудешелле спектрометром, которые позволяют с хорошим накоплением регистрировать изображения звезд 18 звездной величины и получать спектры звезд до 8-9 звездной величины во всем оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра с разрешением  $R = 40000$ .

Фотометрические наблюдения звезд оперативно обрабатываются, что позволяет быстро

составлять представление об изучаемом объекте и обнаруживать новые объекты для исследования. В случае спектроскопических наблюдений используются специальные программы для обработки данных, которые позволяют в дальнейшем анализировать спектры и вычислять основные характеристики звезд. По мере накопления новых данных появляются новые методики обработки изображений или спектров, предлагаются новые гипотезы, описывающие поведение рассматриваемых объектов.

В представленной работе проведены разносторонние исследования двойных, одиночных и кратных звезд Галактики по наблюдениям, которые выполнялись на 1.5-м Российско-Турецком телескопе и 6-м телескопе БТА. С помощью совершенных методик обработки и анализа астрономических данных сделано детальное и последовательное изучение сложных астрофизических объектов, многие из которых ранее были недоступны для получения высокоточных результатов. Мы исследовали объекты различной астрофизической природы: одиночные пульсирующие звезды, предкатаклизмические двойные, кратные системы звезд. Ниже перечислены основные фундаментальные результаты, полученные по отдельным типам объектов.

Переменная звезда V1327 Орла, ранее считавшаяся катаклизмической двойной [5], по результатам нашей работы оказалась одиночной пульсирующей звездой типа RR Лиры. На рис. 1 приведена кривая блеска этой звезды, построенная по наблюдениям на РТТ150 в течение 10 ночей в июне-августе 2003 г. в трех фильтрах фотометрической системы BVR. Изменения блеска звезды происходят строго периодически: в течение 12 ч. 49 мин яркость звезды в зависимости от фотометрической полосы меняется с амплитудами 1.36, 1.13 и 1.11 звездных величин в фильтрах B, V и R, соответственно. Кривая блеска имеет классический вид: резкий подъем к максимуму, плавное падение блеска в течение почти половины периода ( $\approx 7$  ч.), затем "плато" вблизи минимума в фазах  $\phi=0.5-0.8$  и, наконец, небольшое (на 0.15 звездной величины) ослабление блеска перед новым увеличением к максимальной яркости. Таким образом, новую открытую переменную V1327 Орла можно уверенно причислить к звездам типа RR Lyg.

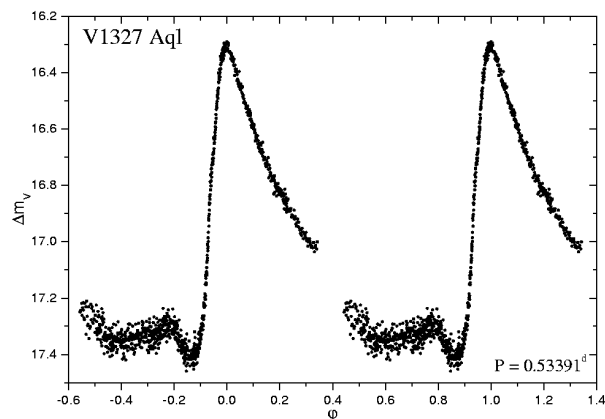


Рис.1. Общая кривая блеска звезды V1327 Орла по всем наблюдениям

Анализ спектроскопических данных (полученных на БТА) позволил определить основные характеристики атмосферы звезды:  $T_{\text{eff}}=6280\pm 60\text{K}$ ,  $\lg g=3.3\pm 0.7$ ,  $[M/H]=-1.05\pm 0.15$ . Измеренное значение лучевой скорости ее движения относительно Солнца ( $\Delta V=-470\pm 20$  км/с) является экстремально высоким даже для звезд сферической составляющей Галактики. Это экстремально высокое отрицательное значение выделяется относительно скоростей звезд в солнечной окрестности. К сожалению, из-за большой удаленности пока невозможно получить сведения по кинематике этой звезды. Однако наблюдательные данные позволили оценить расстояние до нее и сделать представление о местоположении этой звезды в Галактике. На основе спектроскопии и фотометрии получено значение абсолютной звездной величины  $M_V=0.^m69$ , которое соответствует расстоянию до звезды  $r=17.9$  килопарсек. В итоге, экстремальная величина лучевой скорости движения звезды вместе с достаточно большими расстояниями от центра (13.1 кпк) и диска (4.2 кпк) Галактики указывает на вероятное внегалактическое происхождение этого объекта [6].

В январе 2006 г. на телескопе РТТ150 были проведены спектральные наблюдения по новой программе изучения пульсирующих звезд типа  $\delta$  Щита. Эти звезды интересны тем, что у них может происходить диффузия вещества из-за пульсационных процессов. На основе литературных данных для этих звезд вычислены значения основных параметров (таблица 1), некоторые из которых ранее были неизвестны или имели большую неопределенность значения. Эти величины необходимы для расчета химического состава звезд, которые выполняются посредством специальных пакетов расчетных программ. Спектры звезд обработаны, измерены лучевые скорости движения звезд и эквивалентные ши-

рины 550-1400 спектральных линий (в зависимости от скорости вращения звезды) ионов и нейтральных атомов для почти 30 химических элементов от углерода до европия.

Таблица 1  
Фундаментальные параметры пяти звезд типа  $\delta$  Щита

Звезда/ Параметр	$T_{\text{eff}}$	$\log g$	[Fe/H]	$M_V$
АО CVn	7545	3.70	0.38	0.03
CP Boo	6205	3.72	0.04	2.13
DG Leo	7770	3.64	0.26	0.11
HD 87696	8205	4.56	-0.01	2.28
KW Aur	7800	3.73	-0.14	0.45

В нашей работе были продолжены исследования молодых предкатаклизмических переменных (ПП). Замечено, что физическое состояние вторичных компонент молодых ПП не соответствует моделям теории звезд главной последовательности. Данные объекты обладают значительными избытками радиусов и эффективных температур, обеспечивающими общий избыток их светимости в пределах от 1.3 до 60 раз. Избыточная светимость объясняется продолжительным периодом их возвращения к спокойному состоянию после сброса общей оболочки системы, который может достигать  $2 \times 10^6$  лет.

Возраст рассматриваемых молодых ПП в основном равен  $5 \times 10^4 - 2 \times 10^5$  лет, то есть процесс охлаждения и релаксации звезд находится в начальной стадии, что позволяет им иметь экстремально высокую светимость. Поэтому в статье [7] высказано предположение о связи светимости вторичных компонент, прежде всего, со временем существования после сброса оболочки и в меньшей степени с остальными характеристиками (масса). Это означает, что чем моложе ПП, тем больше ее избыточная светимость.

Для проверки данной гипотезы на телескопе БТА были проведены спектральные, а на телескопе РТТ150 фотометрические наблюдения выборки из молодых и старых предкатаклизмических переменных. Детальное изучение двух объектов – V477 Лир и ВЕ Большой Медведицы – позволило получить основные параметры компонент систем. В частности, для V477 Лир они таковы: эффективные температуры  $T_{\text{eff1}}=85000\text{K}$ ,  $T_{\text{eff2}}=5400\text{K}$ , радиусы  $R_1=0.187 \pm 0.010 R_{\odot}$ ,  $R_2=0.417 \pm 0.017 R_{\odot}$ , наклонение орбиты  $i$  составляет  $81^{\circ}.98$  [7].

На рис.2, приводится спектр этой звезды в момент вторичного минимума, на котором отмечены сильные линии, принадлежащие спектру белого карлика. Исследование обеих звезд ука-

зывает на достоверность высказанной ранее гипотезы.

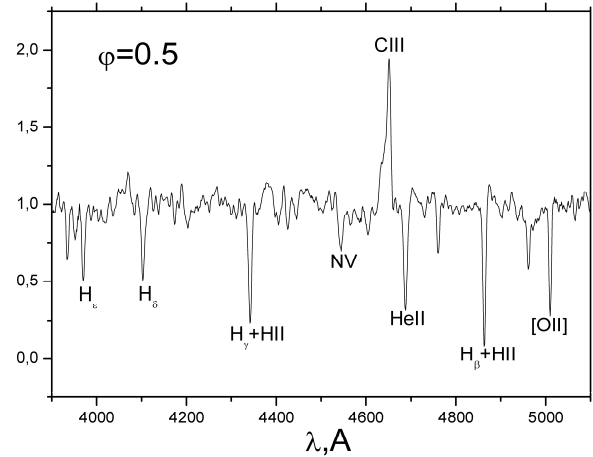


Рис.2. Оптический спектр звезды V477 Лир в фазе 0.5

Для изучения более сложных кратных систем звезд приходится применять особые способы обработки и анализа данных. В частности, в работе [8] предложена новая методика измерения лучевых скоростей звезд по сложным спектрам, где нет разделения линий компонент системы, путем построения и сравнения автокорреляционных функций для теоретического и наблюдаемого спектров. Данная методика успешно проверена на примере тройной системы HD 222326 и позволила получить более точные значения лучевых скоростей звезд системы по спектрам, полученным на телескопе РТТ150. Также были определены другие орбитальные параметры системы и некоторые физические характеристики (спектральные классы) звезд. Кроме того, проведен анализ устойчивости системы и сделан вывод о возможном существовании четвертой компоненты.

На представленном ниже рис.3 схематически представлены основные итоги этой части работы.

Таким образом, в результате наших исследований на основе собственных оригинальных наблюдений получены впервые или уточнены характеристики нескольких одиночных, двойных и кратных систем звезд. Изучение этих объектов идет в русле астрофизических работ, выполняемых на кафедре астрономии КГУ последние несколько десятилетий, и станет основой для последующих работ.

HD222326:

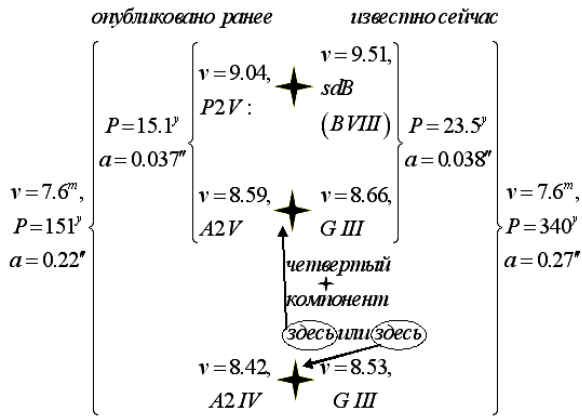


Рис.3. Параметры кратной системы HD 222326

Авторы благодарны Академии Наук Татарстана, Российскому Фонду Фундаментальных Исследований (грант №05-02-17744), программе "Ведущие Научные школы России" (НШ-784.2006.2) за поддержку исследований. Также мы признательны академику АНТ Н.А.Сахибуллину на постоянное содействие в работе

и доцентам КГУ И.Ф.Бикмаеву и В.В.Шиманскому за полученные наблюдательные данные и помощь в их интерпретации.

\*\*\*\*\*

1. Сахибуллин Н.А. // Методы моделирования в астрофизике. I Звездные атмосферы, Казань, 1997.
2. Сахибуллин Н.А. // Методы моделирования в астрофизике. II Фундаментальные параметры звезд, Казань, 2003.
3. Пульсирующие звезды, под ред. Б.В.Кукаркина, М, 1970.
4. Shimansky V., Sakhbullin N.A., Bikmaev I. et al. // Astron. and Astrophys., 2006, V. 456, P.1069.
5. Downes R.A., Webbink R.F., Shara M.M. et al. // Publ. Astron. Soc. Pacif., 2001, V. 113, P.764.
6. Галеев А.И., Бикмаев И.Ф., Борисов Н.В. и др. // Астрон. Ж., 2007, в печати.
7. Шиманский В.В., Позднякова С.А., Борисов Н.В. и др. // Астрон. Ж., 2007, в печати.
8. Жучков Р.Я., Малоголовец Е.В., Балга Ю.Ю. и др. // Астрон. Ж., 2007, в печати.

## THE STUDY OF SINGLE, BINARY AND MULTIPLE STARS BASED ON OBSERVATIONS WITH THE 1.5-M KAZAN UNIVERSITY TELESCOPE RTT150

A.I.Galeev, R.Ya.Zhuchkov, D.V.Ivanova, S.A.Pozdnyakova

The work presents the research on the results of different types of stars observed with Russian-Turkish telescope. Based on photometric and spectral observation's analysis – showed atmospheric parameters and evolution status of RR Lyr-type star V 1327 Aql, fire  $\delta$  Sct-type stars. Cataclysmic stars V477 Lyr and BE UMa and triple system HD 222326 were determined.