АСТРОФИЗИКА

ТОМ 50 НОЯБРЬ, 2007 ВЫПУСК 4

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗЛУЧАЮЩЕГО В КОНТИНУУМЕ СЛОЯ ЗВЕЗД ТИПА МИРЫ. II. РАДИУСЫ И СКОРОСТИ РАСШИРЕНИЯ

Е.В.РУБАН, А.А.АРХАРОВ, Е.И.ГАГЕН-ТОРН, Т.Ю.ПУЗАКОВА

Поступила 21 марта 2007
Принята к печати 18 июля 2007

На основе Пулковской спектрофотометрической базы данных определены скорости расширения и радиусы слоев, излучающих в континууме звезд RR SCO и OMICR CET. Получены зависимости радиусов и скоростей от фазы цикла переменности, которые согласуются с известными данными, полученными для слоев, излучающих в линиях.

Ключевые слова: *звезды:спектрофотометрия:переменность*

1. *Введение.* В настоящей работе продолжено исследование результатов наблюдений переменных звезд типа Миры по материалам, имеющимся в Пулковской базе спектрофотометрических данных (ПБСД). В первой части работы [1] были определены спектрофотометрические температуры исследуемых звезд. Цель данного исследования - определение радиусов слоев, излучающих в континууме, в разных фазах цикла переменности блеска звезд. Результаты наблюдений имелись в ПБСД только для двух мирид - RR SCO и OMICR CET. Поэтому эти две звезды и являлись объектами настоящего исследования.

2. *Относительные радиусы излучающего слоя звезды RR SCO в разных фазах цикла.* Так же, как в предыдущих работах [2,3], для определения отношения радиусов излучающих слоев звезды в двух фазах цикла мы воспользовались известной формулой, связывающей абсолютную величину звезды M в длине волны λ с ее температурой T и радиусом R,

$$M = C_\lambda - 5\log R + 1.56/\lambda T + 2.5\log\left(1 - 10^{-0.624/\lambda T}\right), \qquad (1)$$

где C_λ - член, зависящий только от λ. Для наших значений температур последний член в формуле (1) <<-0.01, и им можно пренебречь. Учитывая, что разность абсолютных величин звезды (ΔM) в разные моменты времени равна разности ее видимых величин (Δm), получим следующую формулу, определяющую отношение радиусов в моменты времени, соответствующие фазам ph1 и ph2:

$$\log(R_{ph2}/R_{ph1}) = 1.56(1/T_{ph2} - 1/T_{ph1})/5\lambda - (m_{ph2} - m_{ph1})/5. \quad (2)$$

Используя для звезды RR SCO наблюдаемые квазимонохроматические величины [4,5] и температуры излучающих слоев, полученные в [1], мы вычислили отношение радиусов слоев в разных фазах цикла относительно радиуса в максимуме излучения - R_N/R_3. Здесь N - номер по порядку наблюдения (см. ниже табл.1), а 3 - номер наблюдения, в котором получены максимальные квазимонохроматические потоки от звезды практически во всех длинах волн [1]. Отношения R_N/R_3 в зависимости от длины волны приведены на рис.1 для разных дат, N. Поскольку формулы 1 и 2 относятся

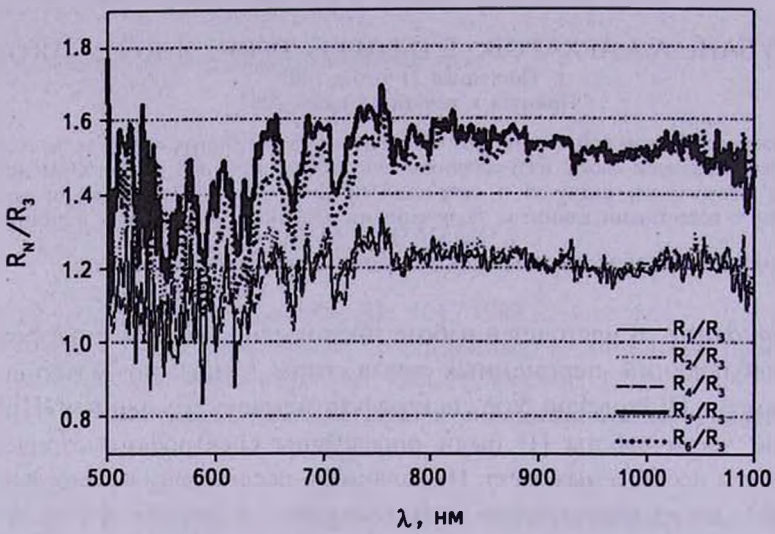

Рис.1. Относительные радиусы излучающих слоев звезды RR SCO в различных длинах волн для разных дат, N.

к непрерывному спектру, то на кривых рис.1 имеет смысл только монотонная составляющая, соответствующая континууму. Она характеризуется следующими усредненными по длинам волн отношениями: $R_N/R_3 \approx 1.2$ для $N=1$, 2, 4 и $R_N/R_3 \approx 1.5$ для $N=5$, 6. Разброс отдельных значений от среднего не превышает 0.1.

Сопоставим далее между собой параметры излучающего слоя в разных фазах цикла.

3. *Соотношение между параметрами излучающего слоя звезды RR SCO в разных фазах цикла.* В табл.1 для звезды RR SCO собраны параметры излучающего слоя, полученные в данной работе и в первой ее части [1]. В таблице даны: номер по порядку наблюдения звезды, N; момент наблюдения в юлианских днях, JD; фаза цикла, ph; спектрофотометрическая температура, T_c; усредненные по длинам волн отношения R/R_3.

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ ИЗЛУЧАЮЩЕГО СЛОЯ ЗВЕЗДЫ RR SCO

N	JD24476	ph	T_e, K	R/R_3
1	61.73	0.97	2600	1.2
2	67.72	0.99	2600	1.2
3	68.88	1.00	2800	1.0
4	69.73	1.00	2600	1.2
5	77.76	1.03	2400	1.5
6	81.75	1.04	2400	1.5

Соотношение между квазимонохроматическими освещенностями от звезды, m_λ [4,5], в двух, для примера, длинах волн (650 и 820 нм) вне сильных полос поглощения, температурами, T_e, и средними относительными размерами слоя, R/R_3, в разных фазах цикла, ph, показано на рис.2. На отрезках отложены случайные ошибки определения каждого параметра. Видно, что в момент (отмечен вертикальной линией) максимального излучения звезды температура излучающего слоя была

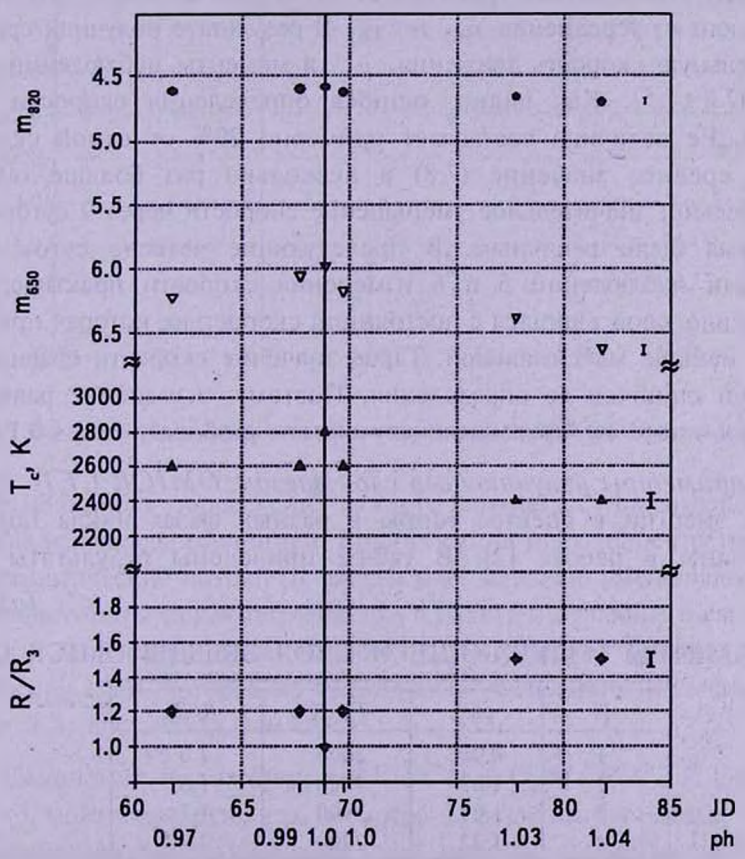

Рис.2. Физические параметры излучающего слоя звезды RR SCO для разных фаз цикла.

наибольшей, а радиус - наименьшим. Это состояние звезды было довольно кратковременным (менее 2-х суток) по сравнению с продолжительностью цикла (~280d). Далее радиус слоя увеличивался, а температура падала.

Если предположить, что увеличение размера излучающего слоя после максимума связано с его расширением, то путь, пройденный слоем за время между наблюдениями, t, равен ΔR, и легко определить среднюю скорость движения слоя, υ, по формуле: $\upsilon = \Delta R/t$. Используя полученные выше относительные радиусы слоев, можно определить относительные скорости в разные моменты. Так, если в первые сутки после фазы максимального излучения слой двигался со скоростью $\upsilon_{3,4}$, то через 9 суток после нее (наблюдение 5) слой двигался значительно медленнее: $\upsilon_{4,5} = \upsilon_{3,4}/6.3$ (в подстрочниках указаны номера наблюдений, между которыми вычислены скорости). Через 13 суток (наблюдение 6) скорость уменьшилась еще больше: $\upsilon_{4,6} = \upsilon_{3,4}/9.4$. Но, поскольку изменение радиуса между моментами наблюдений 5 и 6 было порядка случайного разброса (см. рис.1), то скорость движения слоя между этими датами сравнима со случайной ошибкой. Эту ошибку мы оценили из усреднения $\upsilon_{4,5}$ и $\upsilon_{4,6}$. В результате получили среднюю относительную скорость движения, υ, в моменты наблюдений 5 и 6: $\upsilon = \upsilon_{3,4}/(7.8 \pm 1.5)$. Как видно, ошибка определения скорости очень большая. Ее величина составляет примерно 20% от самой скорости. Однако среднее значение (7.8) в несколько раз больше ошибки, следовательно, значительное уменьшение скорости через 9 суток после максимума было реальным. В последующие четверо суток между моментами наблюдений 5 и 6 изменения скорости практически не происходило: слой двигался с постоянной скоростью, которая примерно в 8 раз меньше максимальной. Такое значение скорости сравнимо со случайной ошибкой ее определения. Поэтому изменение радиуса за это время также не превышало случайного разброса, т.е. $\leq 0.1 R_3$.

4. *Параметры излучающего слоя звезды OMICR CET.* Распределения энергии в спектре Миры в разных фазах цикла подробно исследованы в работе [2]. В табл.2 приведены результаты этого

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ ИЗЛУЧАЮЩЕГО СЛОЯ ЗВЕЗДЫ OMICR CET

N	ph	T_e, K	R/R_1
1	0.96	3000	1.0
2	1.07	3000	1.6
3	1.09	2900	1.7
4	1.22	2200	3.0

исследования. В ней даны: номера фаз цикла по порядку, N; фазы цикла, ph; спектрофотометрические температуры, T_e; относительные радиусы, R/R_1. Заметим, что, приведенные отношения вычислены не к радиусу в максимуме блеска, а к радиусу в 1-й фазе, наиболее близкой к максимуму. Эти отношения могут быть несколько меньше, чем относительные размеры слоя, вычисленные к радиусу в максимуме, поскольку, если следовать аналогии со звездой RR SCO, радиус Миры в максимуме, скорее всего, был наименьшим.

На рис.3 для каждой фазы, ph, нанесены наблюденные квазимонохроматические величины Миры в двух длинах волн (650 и 820 нм) [2], m_λ, спектрофотометрическая температура, T_e, и отношение радиуса слоя в данной фазе к радиусу в 1-й фазе, R/R_1. На отрезках отложены

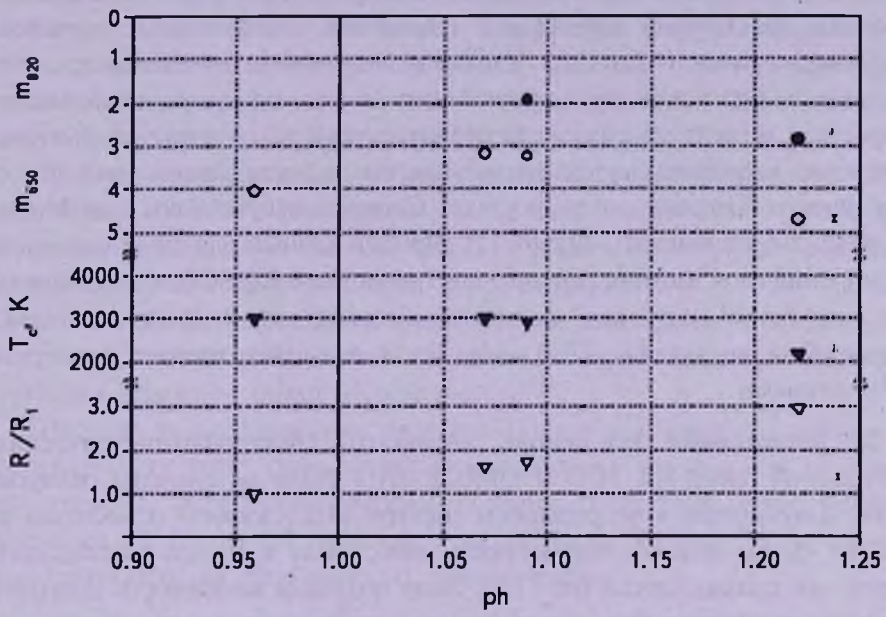

Рис.3. Физические параметры излучающего слоя звезды OMICR CET для разных фаз цикла.

случайные ошибки определения каждого параметра. Максимальная фаза отмечена вертикальной линией. Видно, что на нисходящей ветви квазимонохроматические потоки от звезды уменьшались, уменьшалась также спектрофотометрическая температура, а радиус излучающего слоя увеличивался - слой расширялся. В работе [2] определена средняя скорость расширения слоя, которая на нисходящей ветви кривой блеска (между фазами 2-4) составляла ~40 км/с.

5. *Сравнение параметров RR SCO и OMICR CET.* Сравнивая рис.2 и 3, можно заметить, что, несмотря на различие численных значений всех параметров рассматриваемых звезд, имеются общие закономерности

изменения параметров по мере удаления момента наблюдения от момента максимального излучения. Перечислим эти закономерности.

Во-первых, уменьшение квазимонохроматических потоков излучения звезд, причем амплитуда изменения потока тем больше, чем меньше длина волны.

Во-вторых, уменьшение спектрофотометрической температуры.

В-третьих, увеличение радиуса излучающего слоя.

Отметим, что все наблюдения звезды RR SCO происходили либо в момент максимума, либо в непосредственной близости к нему. Мира же наблюдалась на более удаленных от максимума фазах. Наблюдения обеих звезд как бы дополняли друг друга по фазам цикла. На рис.2 и 3 видно, что на приблизительно одинаковых фазах (1.04 и 1.07) обе звезды показали практически одинаковые изменения относительных размеров излучающих слоев (1.5 и 1.6). Учитывая это, можно предположить, что расширение слоев этих звезд происходило по схожему сценарию: большие скорости в момент максимума (в первые сутки), затем довольно быстрое (в течение нескольких суток) их уменьшение и последующее движение с практически постоянными скоростями. Скорость излучающего слоя Миры на фазах 2-4 составляла ~40 км/с [2]. Приняв единый для звезд сценарий расширения слоя, можно, используя, по аналогии с RR SCO, коэффициент 8 в максимуме излучения, получить максимальную скорость для слоя Миры. Она составляла ~320 км/с. Этот результат требует проверки наблюдениями.

6. *Заключение.* На основе результатов спектрофотометрических наблюдений звезд RR SCO и OMICR CET были определены радиусы слоев, излучающих в непрерывном спектре. Исследования относились к разным фазам циклов переменности этих звезд в начале нисходящих ветвей их кривых блеска (ph < 1.3). Была получена зависимость радиусов излучающих слоев от фазы цикла: по мере удаления моментов наблюдений от моментов максимумов блеска радиусы слоев увеличивались. Скорости расширения, напротив, уменьшались от очень большого значения в максимуме до относительно небольшого, практически постоянного значения на фазах 1.03-1.22.

Увеличение скорости в максимуме блеска согласуется с известными данными, полученными для слоев, излучающих в линиях [6].

Длительность фазы максимального излучения звезды RR SCO по параметрам непрерывного спектра была меньше двух суток (см. рис.2), что короче длительности фазы максимального блеска в полосе *V*, которая, по данным фотометрии, была не менее 2-х суток (см. табл.1).

На нисходящей ветви кривой блеска потоки квазимонохроматического излучения во всех длинах волн уменьшались, причем амплитуда изменения

потока была тем больше, чем меньше длина волны. Аналогичная зависимость амплитуды переменности от длины волны отмечалась другими исследователями в ИК- диапазоне спектра (см., например, [7]).

Уменьшение квазимонохроматических потоков сопровождалось уменьшением температуры излучающего слоя. Более низкие спектрофотометрические температуры на более удаленных от максимума фазах были получены для всех звезд, результаты наблюдений которых исследовались в первой части работы [1].

Если расширение слоев происходило от известного действия ударной волны [6], возникающей, предположительно, в момент минимума блеска, то в момент максимума слои получили, по-видимому, дополнительный импульс, "толчок", который привел к отрыву верхних слоев. В результате обнажились более глубокие, более горячие слои, которые двигались с бóльшими скоростями. Эти скорости довольно быстро уменьшались. Через, примерно, десять суток после максимума движение слоев продолжалось с практически постоянными скоростями. Протяженность слоев увеличивалась, температура падала.

Временнáя шкала и амплитуда изменения скорости получены нами для звезды RR SCO. Применение тех же закономерностей к процессам в других звездах, даже того же типа, не совсем корректно. Требуются наблюдения для проверки этих закономерностей в других звездах. Дополнительные наблюдения нужны также для выяснения характера "толчков" в максимуме блеска: являются ли они спорадическими, или присущи каждому циклу переменности.

Настоящее исследование еще раз показало сложность процессов переменности звезд типа Миры. Эти процессы до сих пор до конца не изучены. Зарегистрированная недавно гигантская рентгеновская вспышка от Миры [8] указывает на активность звезд этого типа и необходимость их дальнейшего исследования.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Россия, e-mail: rubane@mail.ru

PHYSICAL PARAMETERS OF THE LAYER RESPONSIBLE FOR RADIATION IN CONTINUUM OF MIRA TYPE STARS. II. THE RADII AND LAYER EXPANSION VELOCITIES

E.V.RUBAN, A.A.ARKHAROV, E.I.HAGEN-THORN, T.YU.PUZAKOVA

The radii and the expansion velocities of the layers responsible for radiation in continuum of Mira type stars RR SCO and OMICR CET are derived basing on the Pulkovo spectrophotometric data base. The dependences of radii and velocities on the phase of brightness variability are well correlating with known data obtained for the layers radiating in lines.

Key words: *stars: spectrophotometry: variability*

ЛИТЕРАТУРА

1. *А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, Т.Ю.Пузакова, Е.В.Рубан*, Астрофизика, **50**, 415, 2007.
2. *А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, Т.Ю.Пузакова, Е.В.Рубан*, Астрофизика, **48**, 175, 2005.
3. *А.А.Архаров, Е.И.Гаген-Торн, Т.Ю.Пузакова, Е.В.Рубан*, Изв. ГАО, **216**, 496, 2002.
4. *G.A.Alekseeva, V.D.Galkin, I.N.Nikanorova, V.V.Novikov*, Baltic Astronomy, **3**, 361, 1994.
5. *Е.В.Рубан, Г.А.Алексеева, А.А.Архаров и др.*, Письма Астрон. ж., **32**, №9, 672, 2006.
6. *В.Г.Горбацкий, И.Н.Минин*, Нестационарные звезды, Изд. физ.-мат.лит, М., 355с, 1963.
7. *B.J.Smith, D.Leisawitz, M.W.Castelaz, D.Luttermoser*, Astron. J., **123**, 948, 2002.
8. *M.Karovska, E.Schlegel, W.Hack, J.C.Raymond, B.E.Wood*, Astrophys. J., **623**, L137-140. 2005.