

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР  
АСТРОФИЗИКА

ТОМ 3

АВГУСТ, 1967

ВЫПУСК 3

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ  $\beta$  CrV

Э. Н. ЧУМАК

Поступила 8 апреля 1967

Исправлена 12 июля 1967

Получены: скорость микротурбуленции в атмосфере, температуры ионизации и возбуждения, логарифм электронного давления.

Найден ход изменения температуры возбуждения, а также скорости микротурбуленции в зависимости от потенциала возбуждения.

Найдено содержание химических элементов Fe, Ti, Cr, Ca, V, Sc.

Звезда  $\beta$  CrV принадлежит к группе Ar. Пекулярность ее состоит в усилении линий некоторых металлов и особенно элементов: Eu, Sr, Cr. Согласно [2] магнитное поле у нее меняется от  $-960$  до  $+1020$  гс.

На диаграмме цвет—светимость  $\beta$  CrV находится выше главной последовательности примерно на одну величину [2]. Спектральный класс, определенный по линиям металлов — F0, а по линиям водорода — A7V. Вероятно цвет B—V является покрасневшим из-за усиления линий металлов.

Вопрос о причинах аномалий содержания элементов в атмосферах пекулярных звезд до сих пор не решен [2, 3]. Предполагается [4], что причина пекулярности звезд каким-то образом коррелирует с наличием сильного магнитного поля на поверхности. Типичная для Ar звезд напряженность магнитного поля, согласно [3]  $2000$  гс; соответствующее магнитное давление  $H^2/8\pi$  равно примерно  $2 \cdot 10^5$  дн/см<sup>2</sup>. Это значительно больше, чем электронное и газовое давления, каждое из которых  $3 \cdot 10^2$  дн/см<sup>2</sup>, так что магнитное поле должно было бы полностью определять стратификацию атмосферы магнитной звезды.

Найденные средние турбулентные скорости для магнитных звезд [3] оказываются не отличаются от тех же величин у нормальных кар-

ликов. Однако, интересно было бы узнать, как меняются турбулентные скорости, а также температуры возбуждения с оптической глубиной. В настоящей работе, в частности, рассматривается этот вопрос.

Наблюдательный материал состоит из двух спектрограмм, полученных К. И. Козловой в июле 1965 г. на спектрографе АСП-21 телескопа АЗТ-8. Дисперсия спектрографа 30.4 А/мм.

Использовались фотопластины Kodak OaO. Калибровка спектрограмм проводилась на том же спектрографе с помощью ступенчатого ослабителя и лампы накаливания К-7.

Фотометрическая обработка спектров велась на микрофотометре МФ-4 с записью на ЭПП-09.

В работе применялся метод кривых роста. Эквивалентные ширины линий, центральные части которых не искажены, но блендируются крылья, находились методом описанным в [7], а именно, используя зависимость глубины линии от эквивалентной ширины. Всего в настоящей работе было использовано 280 линий. Роуландовские оценки интенсивности линий в спектре  $\beta$  CrV, сделанные в [6], также были приведены к нашей системе, что позволило уточнить эквивалентные ширины  $W_\lambda$ .

Таблица 1

Элемент	Стадия ионизации	$\epsilon_1$ эв	$T_v$	$v_T$ км/сек	$\bar{T}_H$	$\bar{v}_T$ км/сек
Fe	I	1.59	5400°	5.16	6350°	5.58
Fe	II	4.31	6050	6.25		
Ti	I	1.31	5970	2.24		
Ti	II	1.62	6540	6.04		
Cr	I	1.26	5400	5.39		
Cr	II	3.9	6540	7.75		
Ca	I	1.64	5700			
Sc	II	0.53	5350			
V	II	1.86	6000			

Величины  $\lg gf_\lambda$  брались из работы [5], а  $\epsilon_1$  — потенциалы возбуждения из [7].

Спектр  $\beta$  CrV достаточно богат линиями атомов и ионов различных элементов, поэтому оказалось возможным построить не только одну, общую для всех элементов кривую роста, а несколько. Кривые роста были построены по мультиплетам FeI, TiI, CrI, FeII, TiII, CrII. Кроме того, для некоторых элементов было построено несколько кривых роста по мультиплетам с различными потенциалами возбуждения нижнего уровня.

Найденные турбулентные скорости получились различными (см. табл. 1) поскольку эффективная глубина образования линий с различными потенциалами возбуждения различна. Оказалось, что полученная скорость микротурбуленции возрастает с увеличением потенциала возбуждения (см. рис. 1а).

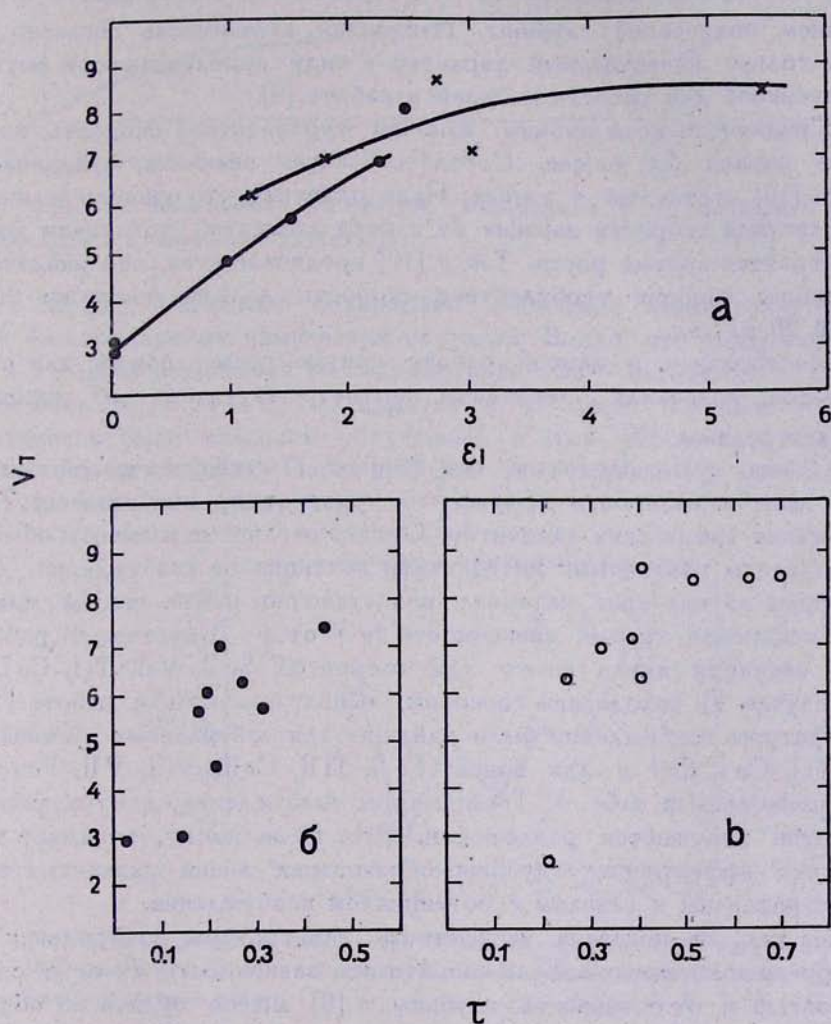


Рис. 1. Зависимость турбулентной скорости от потенциала возбуждения (а), от оптической глубины для нейтральных атомов (б) и для ионов (в).

Для нейтральных атомов и ионов зависимости  $v_T$  от  $\epsilon_l$  несколько различаются.

Была найдена также зависимость между величиной турбулентной скорости, полученной по линиям с различными потенциалами возбуждения для нейтральных атомов и ионов, и оптической глубины в атмосфере (см. рис. 1 б, в). Для этого использовалась работа [8], где были построены зависимости эффективной глубины образования линий ( $\tau$ ) от потенциала возбуждения ( $\varepsilon_1$ ). Оказалось, что  $v_T$  растет с увеличением оптической глубины. Найденная зависимость согласно [8] имеет только качественный характер в виду приближенности метода примененного для расчета моделей в работе [9].

Средняя по всем атомам и ионам турбулентная скорость получилась равной 5.6 км/сек. Соответствующая величина, найденная в работе [10] составляет 4 км/сек. Надо отметить, что средняя величина турбулентной скорости зависит от набора элементов, по линиям которых строятся кривые роста. Так в [10] предполагается, что найденная по линиям европия турбулентная скорость должна примерно быть равной 20 км/сек.

Построенная в данной работе кривая роста, общая для всех элементов, позволила определить параметр затухания „а“, который оказался равным  $10^{-2}$ .

Сдвиги мультиплетов по оси абсцисс  $Y$  к теоретической кривой роста дают возможность определить температуру возбуждения  $T_b$  и содержание химических элементов. Однако различные элементы обычно представлены различными интервалами потенциалов возбуждения. Для некоторых из них этот интервал недостаточно велик, чтобы можно было построить график зависимости  $\lg Y$  от  $\varepsilon_1$ . В настоящей работе такая ситуация имела место для элементов Sc II, V II, Ti I, Ca I. В этом случае  $T_b$  находилась способом, использованным в работе [11]. Температуры возбуждения были найдены для нейтральных элементов: Fe I, Ti I, Ca I, Cr I и для ионов: Fe II, Ti II, Cr II, Sc II, V II. Результаты приведены в табл. 1. Температуры возбуждения, для различных элементов получаются различными. Это, по-видимому, отражает тот факт, что эффективные глубины образования линий различных элементов различны и связаны с потенциалом возбуждения.

На рис. 2а показана зависимость температуры возбуждения от потенциала возбуждения. Если сопоставить зависимость  $T_b$  от  $\varepsilon_1$  с зависимостью  $\varepsilon_1$  от оптической глубины  $\tau$  [8] можно судить об общем ходе изменения  $T_b$  с глубиной в атмосфере. На рис. 2б приведена эта зависимость. Однако, как и в случае турбулентной скорости, можно судить лишь о качественном характере этой зависимости.

В настоящей работе было также определено содержание элементов Fe, Ti, Cr, Ca, V, Sc в нейтральном состоянии и первой стадии ионизации.

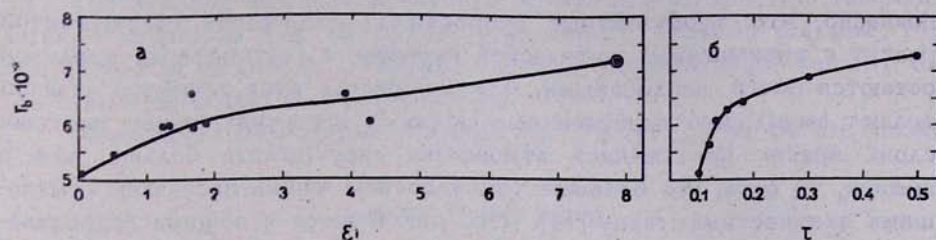


Рис. 2. Зависимость температуры возбуждения  $T_v$  от потенциала возбуждения  $\epsilon_1$  (а) и от оптической глубины (б).

На рис. 3 показано содержание найденных элементов в сравнении со стандартным химическим составом. Видно, что содержание Ca, V и Fe мало отличается от стандартного, Sc — находится в небольшом избытке, а Ti и Cr содержатся в довольно большом избытке. Интересно было сравнить полученные в этой работе результаты с результатами М. Хак (Наск) [10] для этой звезды. Из рис. 3 видно, что они хорошо согласуются.

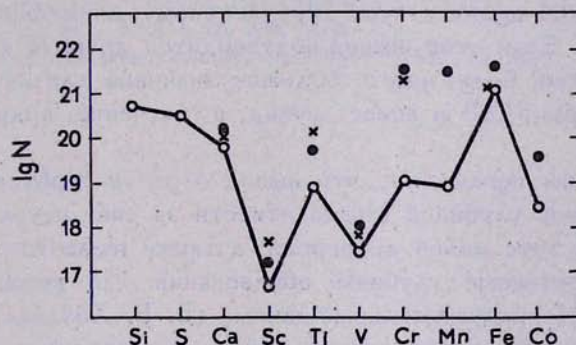


Рис. 3. Относительный химический состав атмосферы  $\beta$  CrV: крестики — по работе [10]; светлые кружки — стандартный состав; темные кружки — результаты полученные в настоящей работе.

Температура ионизации определялась методом, описанным в работе [11].  $T_{ii}$  получилась равной  $6800^\circ$ . Найденная этим же методом величина логарифма электронного давления,  $\lg P_e$ , оказалась равной 1.78, что хорошо согласуется с соответствующей величиной, найденной в [10], где  $\lg P_e = 1.70$ .

Логарифм электронной плотности, определенный по формуле Инглиса-Теллера в настоящей работе равен 13.84, в [12]  $\lg n_e = 13.77$ , а в [13] найдено, что  $\lg n_e = 13.72$ . Полученный характер зависимости  $v_T(\tau)$  позволяет сделать довольно интересные выводы. В работе [8] показано, что турбулентные скорости в атмосферах сверхгигантов растут с уменьшением оптической глубины, а в атмосферах карликов остаются почти неизменными. На основании этих эффектов обычно делают вывод, что турбулентные скорости в верхних менее плотных слоях крайне протяженной атмосферы сверхгиганта больше, чем в нижней, то есть, что большие турбулентные скорости связаны с меньшими плотностями газов [14]. Это согласуется с общими гидродинамическими соображениями: при меньших плотностях вещества условия для возникновения турбулентных движений более благоприятны, чем при больших.

Что касается атмосфер карликов, то здесь градиент плотности значительно ниже, чем в атмосферах сверхгигантов и турбулентная скорость, следовательно, хотя и должна меняться по такому же закону, но значительно слабее. Из сказанного выше следует, что ход турбулентной скорости с оптической глубиной, полученный для  $\beta$  CrV надо, по-видимому, считать аномалией. Можно предположить, что причина этой аномалии заключается в том, что сильное магнитное поле, обнаруженное в поверхностных слоях этой звезды, проникая на глубину  $\tau \approx 0.2-0.4$  препятствует турбулентному движению вещества на этих глубинах. Если этот вывод подтвердится другими наблюдениями, то это, вероятно, будет иметь большое значение для изучения структуры атмосферы  $\beta$  CrV и внесет вклад в изучение природы ее пекулярности.

Однако, не исключено, что вывод о росте турбулентной скорости с оптической глубиной можно отнести за счет неточности наблюдений в результате малой дисперсии, а также из-за того, что использовались эффективные глубины образования для нормальных звезд, хотя некоторые предварительные данные (В. В. Хохлова, КрАО) свидетельствуют о том, что подобный прием не приводит к существенным погрешностям.

В заключение выражаю благодарность К. И. Козловой и Ю. В. Глаголевскому за предоставление высококачественного наблюдательного материала, а также за многочисленные ценные консультации.

SPECTROPHOTOMETRIC STUDY OF  $\beta$  CrB

Z. N. CHUMAK

The velocity of microturbulence in the atmosphere, the temperatures of ionization and excitation, logarithm of electron pressure, the dependence of excitation temperature and of microturbulent velocity on the excitation potential are determined.

Abundances of chemical elements Fe, Ti, Cr, Ca, V, Sc are found.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дж. Л. Гринстейн, Звездные атмосферы, ИЛ., М., 1963, стр. 286.
2. М. Наск, Abundance determination in stellar spectra, London and New York, 1966, p. 232.
3. W. L. W. Sargent, Abundance determination in stellar spectra, London and New York, 1966, p. 247.
4. А. А. Боярчук, Ю. С. Ефремов, В. Е. Степанов, Изв. КрАО, 24, 52, 1960.
5. Т. С. Галкина, И. М. Копылов, Изв. КрАО, 28, 35, 1962.
6. W. A. Hiltner, Ap. J., 102, 438, 1945.
7. М. Е. Боярчук, А. А. Боярчук, Изв. КрАО, 22, 234, 1960.
8. М. Е. Боярчук, Изв. КрАО, 28, 94, 1962.
9. C. de Jager, L. Neven, Rech. Astron. Obs. Utrecht., 13, 4, 1957.
10. М. Наск, Mem. Soc. Astron. Ital., 29, 263, 1958.
11. Э. Р. Мустель, А. С. Галкин, Изв. КрАО, 24, 78, 1960.
12. И. М. Копылов, Изв. КрАО, 26, 232, 1966.
13. Э. Р. Мустель, Звездные атмосферы, ГФМЛ, 1960, стр. 261.