

УДК: 524.3—355—36

О СОДЕРЖАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ В АТМОСФЕРЕ  
ХИМИЧЕСКИ-ПЕКУЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ  $\beta$  Cr V

И. С. САВАНОВ, В. П. МАЛАНУШЕНКО

Поступила 3 сентября 1990

Принята к печати 25 сентября 1990

По эквивалентной ширине линии U II  $\lambda$  3859.58 А определено содержание урана в атмосфере Sg—Cr—Eu звезды  $\beta$  Cr V, которое составляет по нашей оценке  $\lg \epsilon(U) = 3.4$ . Не подтверждена принадлежность линиям U I отождествленных нами деталей по спектрограммам в области  $\lambda\lambda$  8440—8450 А, полученным с ПЭС-камерой. На основе наблюдательных данных, опубликованных Адельманом [1], выполнена оценка содержания 20 элементов в атмосфере  $\beta$  Cr V при учете влияния спектра второго компонента системы.

Звезда  $\beta$  Cr V принадлежит к числу наиболее изученных магнитных звезд в силу того, что она является яркой звездой и абсорбционные линии в ее спектре узки. Химический состав атмосферы и ее поверхностное магнитное поле изучались многими авторами. Однако в большинстве этих исследований не учитывалось то обстоятельство, что  $\beta$  Cr V входит в двойную систему. Величины наиболее вероятных параметров этой двойной системы обсуждаются в статьях [2, 3]. Для нас наиболее существенными являются следующие величины, которые будут использованы в нашем анализе: масса компонентов  $M_A = 1.82 M_{\odot}$ ,  $M_B = 1.35 M_{\odot}$ , расстояние между компонентами  $d = 7.1$  а. е.,  $\Delta t = 0.^m81$  и период  $P = 10.49$  лет.

$\beta$  Cr V принадлежит к числу Ar-звезд, в спектрах которых обнаружено присутствие линий сверхтяжелых элементов, в первую очередь урана [4]. Содержание урана в атмосферах химически-пекулярных звезд, как правило, оценивается по линии U II  $\lambda$  3859.58 А [5, 6]. В статье [8] методом синтетических спектров по четырем спектрограммам, содержащим линию U II  $\lambda$  3859.58 А, определено содержание урана в атмосфере Ar-звезды 73 Dra. В среднем определено содержание урана  $\lg \epsilon(U) = 4.1$ , что на четыре порядка превышает содержание урана в солнечной системе, найденное по метеоритам.

Другое независимое определение величины содержания урана может быть основано на изучении ультрафиолетовой линии  $U II \lambda 2556.19 \text{ \AA}$ . Однако, согласно исследованиям Северного и Любимкова [7], среди 11 изученных Ар-звезд эта линия была зарегистрирована только у звезды 73 Dga.

В статье [6] воспроизводятся участки спектрограмм звезды  $\beta \text{ Cg B}$ , содержащие линию  $U II \lambda 3859.58 \text{ \AA}$ . Для  $\beta \text{ Cg B}$  деталь спектра, содержащая линию  $U II$ , попадает в крыло сильной линии нейтрального железа и выражена менее отчетливо, чем для некоторых других Ар-звезд. В то же время точный анализ методом синтетических спектров, аналогичный выполненному нами ранее для звезды 73 Dga [8], затруднен из-за необходимости учета спектра второго компонента. В связи с этим мы выполнили оценку содержания урана в атмосфере главного компонента системы  $\beta \text{ Cg B}$  (в дальнейшем — компонента А), основанную лишь на рассмотрении эквивалентных ширин линий, используя подход, разработанный для анализа сложных спектров двойных систем и описанный в статье Любимкова и Самедова [9]. По измерениям, произведенным авторами работы [6], эквивалентная ширина  $W_\lambda$  линии  $U II \lambda 3859.58 \text{ \AA}$  составляет 61 мА, что находится в соответствии с независимо выполненным измерением [1], согласно которому  $W_\lambda = 68 \text{ мА}$ . Предполагая, что линия  $U II$  принадлежит спектру химически-пекулярного компонента системы, по формулам, приведенным, например, в [9], мы имеем

$$W_A = W_A^{\text{набл.}} \cdot (1 + \beta), \quad \text{где } \beta = \frac{F_c(B)}{F_c(A)} \cdot \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^2.$$

В данных формулах А и В относятся соответственно к главному и вторичному компонентам,  $F_c$  — поток в континууме для заданной длины волны, который определялся по таблицам Куруца [10], эффективные температуры атмосфер компонентов были приняты  $T_{\text{эф}} = 8300 \text{ К}$  (компонент А),  $T_{\text{эф}} = 6500$  (компонент В), радиусы компонентов  $R_A$  и  $R_B$  находились из зависимости

$$\lg R/R_\odot = 2.22 + 0.5 \cdot \lg M/M_\odot - 0.5 \lg \tau$$

в предположении, что  $\lg g_{1, B} = 4.0$ .

Для найденной таким образом эквивалентной ширины  $W_\lambda$  для модели с параметрами  $T_{\text{эф}} = 8300 \text{ К}$ ,  $\lg g = 4.0$  микротурбулентностью  $\xi_t = 2 \text{ км/с}$  мы нашли, что  $\lg z(U) = 3.4$ . Отметим, что согласно [11] нами использовалось значение силы осциллятора для линии  $U II \lambda 3859.58 \text{ \AA}$ , равное  $\lg gf = -0.62$ .

Хорошим свидетельством в пользу реальности присутствия линий сверхтяжелых элементов в спектрах химически-пекулярных звезд могли бы

служить исследования, проводимые на основе анализа линий других стадий ионизации этих элементов (т. е., например, в нашем случае линий нейтрального урана). В ходе изучения переменности ИК-линии кислорода  $O I \lambda 8446.5 \text{ \AA}$  был отождествлен ряд линий, три из которых могли бы принадлежать спектру нейтрального урана. Спектрограммы, охватывающие диапазон  $\lambda\lambda 8427\text{—}8458 \text{ \AA}$ , были получены 3/4.06.1988 г. на фазе 0.53 периода вращения (см. оис. 1).

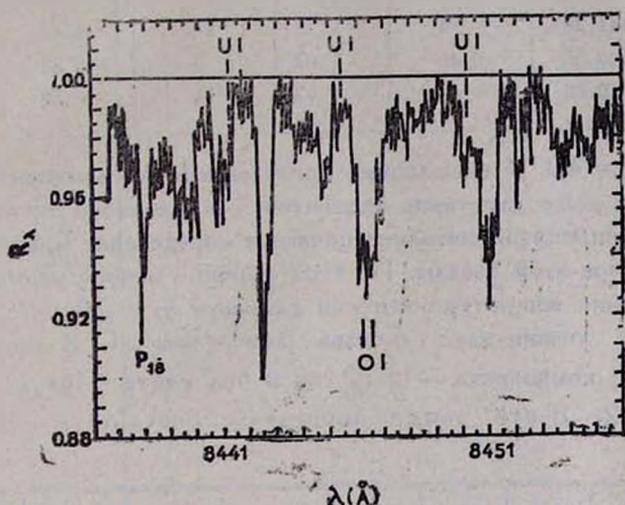


Рис. 1. Участок спектра  $\beta$  CrV, полученный 3/4.06.1988 г. в диапазоне длин волн  $\lambda\lambda 8436\text{—}8456 \text{ \AA}$ . Спектр нормирован по отношению к красному крылу линии  $P_{18}$ . Отмечены положения линии UI, OI и  $P_{18}$ .

Основные сведения о линиях нейтрального урана и их измерениях приведены в табл. 1: длина волны (согласно [12]), потенциал возбуждения нижнего уровня  $E_l$ , значение  $\lg gf$ , наблюдаемые эквивалентные ширины  $W_{\lambda}^{набл}$  и величины  $\lg^2(U)$ , полученные для каждой линии. Значения  $\lg gf$  были определены исходя из измерений интенсивностей линий Меггера, Корлисса и Скрибнера [13] и помещены в абсолютную шкалу [14] по измерениям времени жизни уровня UI (линия  $\lambda 6395, 42 \text{ \AA}$ ). Содержания урана в атмосфере звезды  $\beta$  CrV, определенные по линиям нейтральных атомов и ионов, значительно различаются (величины  $\lg^2(U)$  составляют соответственно 6.7 и 4.3), что, несмотря на хорошее совпадение по длинам волн, ставит под сомнение принадлежность отождествленных нами деталей к линиям UI.

Пользуясь описанной выше методикой учета влияния второго компонента, мы выполнили анализ эквивалентных ширин линий, опубликованных Адельманом [1], с учетом современных значений вероятностей пере-

ходов для спектральных линий. При этом наши вычисления основывались на модели, полученной путем интерполяции моделей из сетки Куруца [10] для параметров  $T_{\infty} = 8300$  К,  $\lg g = 4.0$ . Для вторичного компонента системы мы использовали модель со следующими параметрами:  $T_{\infty} =$

Таблица 1

Длина волн (АА)	$E_l$ (эВ)	$\lg gf$	$W_A^{наб}$	$\lg^2(U)$
8441.20	0.94	-1.70	15	6.78
8445.35	0.46	-1.62	8	6.30
8450.03	0.46	-1.92	14	6.89

$= 6500$  К,  $\lg g = 4.0$ . К сожалению, приведенный Адельманом список линий малочислен даже для таких элементов, как железо и титан, и не позволяет по общепринятой методике провести определение микротурбулентности в атмосфере этой звезды. По этой причине наши расчеты проводились при значении микротурбулентной скорости  $\xi_t = 2.0$  км/с. Результаты определения химического состава атмосферы  $\beta$  Ст В как при учете влияния второго компонента —  $\lg^2_{AB}$ , так и без учета —  $\lg^2_{AB}$ , представлены в табл. 2. В ней также приведены результаты, полученные

Таблица 2

Элемент	$\lg^2_A$	$\lg^2_{AB}$	$\lg^2_{[S]}$	$\lg^2_{\odot}$	Элемент	$\lg^2_A$	$\lg^2_{AB}$	$\lg^2_{[S]}$	$\lg^2_{\odot}$
Si II	7.66	7.61	7.41	7.55	Ni I	6.14	6.28	7.23	6.20
Ca I	6.74	6.93	7.82	6.36	Ni II	7.39	7.31	7.38	6.20
Sc II	4.70	4.53	4.78	3.90	Sr II	5.32	5.25	5.02	2.90
Ti I	5.92	5.96	6.61	4.89	Y II	2.97	3.03	3.95	2.24
Ti II	5.93	5.87	6.33	4.90	Zr II	4.52	4.37	4.93	2.56
V II	4.72	4.71	3.50	4.20	Ba II	3.29	3.68	3.42	2.40
Cr I	7.81	7.85	8.05	5.60	Ce II	3.71	3.53	4.47	1.59
Cr II	7.69	7.35	7.76	5.55	Pr II	3.28	3.09	4.75	0.83
Mn I	6.35	6.40	6.53	5.35	Sm II	3.02	2.91	5.24	1.06
Mn II	7.36	7.24	6.63	5.40	Eu II	5.09	4.98	6.52	0.51
Fe I	8.19	8.31	8.90	7.55	Gd II	3.91	3.70	4.83	1.12
Fe II	8.76	8.54	8.92	7.60	U II	3.43	3.18	3.17	0.60
Co I	6.03	6.02	6.31	4.55					

Адельманом [5], и содержания элементов в атмосфере Солнца. В силу неопределенностей в значении  $\xi$ , результаты табл. 2 могут рассмат-

риваться как предварительные, поскольку для ряда элементов величины  $lg \xi$  были найдены по достаточно сильным линиям. Так, например, избыток содержания железа в атмосфере  $\beta$  CrV при увеличении  $\xi_r$  до 4 км/с уменьшится на  $0.3 \pm 0.4$  dex для данного набора линий Fe I и Fe II и будет лишь немного превосходить солнечное значение. Рис. 2

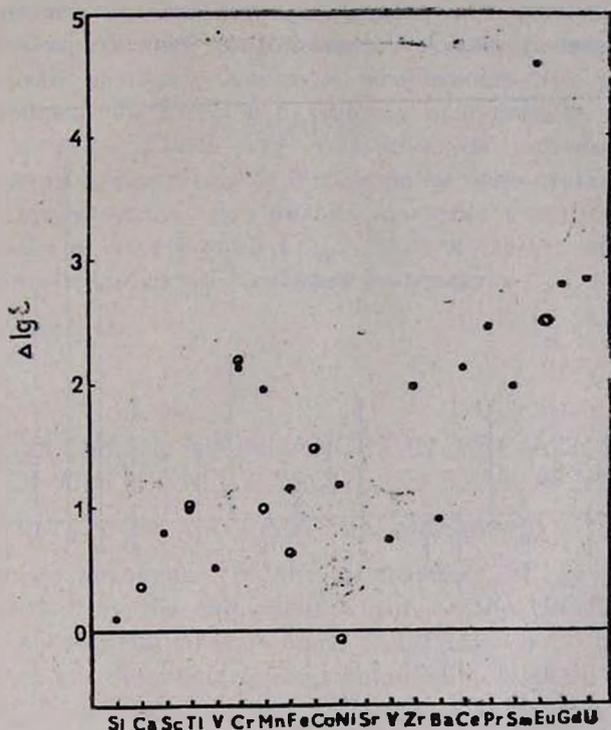


Рис. 2. Сравнение химического состава атмосферы  $\beta$  CrV с составом атмосферы Солнца. Открытые кружки — содержания, найденные по линиям нейтральных элементов, заполненные кружки — по линиям ионов.

представляет разности  $\Delta lg \xi = lg \xi_* - lg \xi_{\odot}$  для всех элементов, перечисленных в табл. 2. Химический состав атмосферы звезды  $\beta$  CrV является аномальным, имеется избыток большинства элементов, растущий с увеличением атомного номера элементов. Несмотря на более умеренные избытки элементов в атмосфере  $\beta$  CrV, чем были найдены в [5], подтверждается принадлежность этой звезды к Sr—Cr—Eu типу. Особенно выделяется избыток европия, составляющий величину порядка 4.5 dex. Даже по линии Eu II  $\lambda$  3907.10 Å, наименее подверженной влиянию сверхтонкой структуры атомных уровней, приводящей к усилению линий этого элемента [15], избыток европия составляет

4.1 dex. Отметим также, что определение содержания стронция основано на анализе субординатной линии Sr II  $\lambda$  4161.80 Å, а резонансная линия стронция  $\lambda$  4215.52 Å нами не учитывалась.

Кроме того, мы выполнили исследование атмосферы  $\beta$  Cg B в предположении, что это одиночная звезда, принимая для нее те же параметры модели атмосферы. Результаты сравнения содержаний элементов, найденных без учета влияния спектра второго компонента и с учетом двойственности, изображены на рис. 3. Согласно этому рисунку, различия не пре-

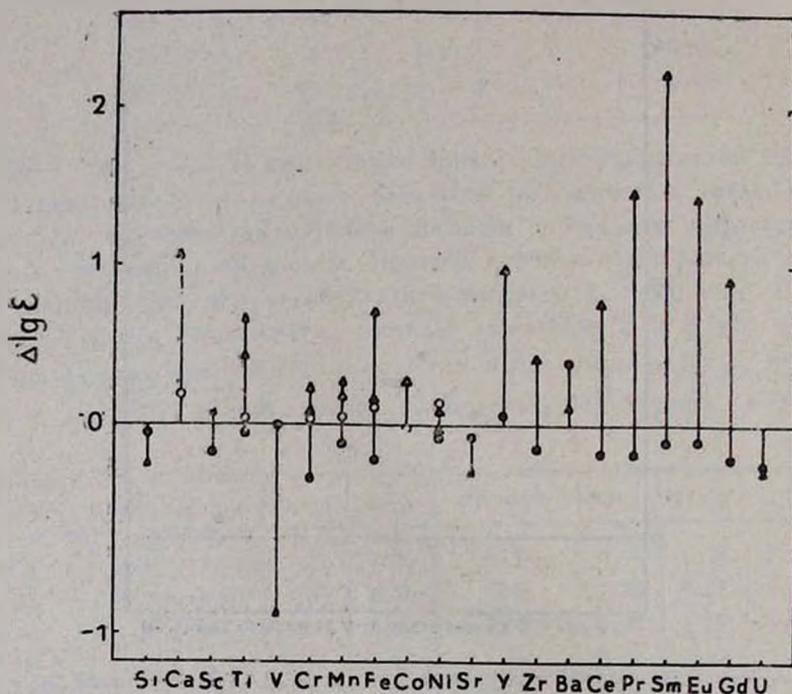


Рис. 3. Различия в содержаниях элементов в атмосфере  $\beta$  Cg B без учета влияния спектра второго компонента и при учете двойственности (кружки) и сравнение содержаний элементов в атмосфере этой звезды, полученных в [5] и нами при учете двойственности (треугольнички). Открытые кружки соответствуют содержаниям, определенным по линиям нейтральных элементов, а заполненные — по линиям ионов.

вышают  $\pm 0.3$  dex, причем в среднем величина различий для линий ионов составляет  $-0.10$  dex, а для линий нейтральных атомов —  $+0.08$  dex. Таким образом, при анализе спектра двойной системы, выполненном обычным методом (т. е. как одиночной звезды), мы не обнаружили значительных различий в химическом составе, аналогичных различиям, найденным в [16] при моделировании спектра двойной звезды. Причина этого может

быть в том, что мы проводили вычисления в предположении о нормальном (солнечном) химическом составе более холодного компонента, в то время как в [16], напротив, содержания элементов при расчетах были увеличены в атмосфере именно холодного компонента. Поскольку в принципе не исключена возможность химической peculiarity и вторичного компонента, то те или иные предположения о химическом составе его атмосферы требуют проверки. Хорошую возможность для такого анализа могут дать наблюдения  $\beta$  CrB в будущем с приемниками высокого спектрального разрешения (1990—1992 гг.), когда вследствие орбитального движения спектры компонентов будут сдвинуты относительно друг друга. В частности, это позволит по индивидуальным спектрам компонентов уточнить параметры их атмосфер ( $T_{эф}$ ,  $lg g$ ) и сделать независимые заключения о химическом составе атмосфер компонентов.

Крымская астрофизическая  
обсерватория

## ON THE ELEMENT ABUNDANCES IN THE ATMOSPHERE OF CHEMICALLY PECULIAR STAR $\beta$ CrB

I. S. SAVANOV, V. P. MALANUSHENKO

The uranium abundance in the atmosphere of Sr—Cr—Eu star  $\beta$  CrB is defined using the equivalent width of the  $UII \lambda 3859.58 \text{ \AA}$  line. According to our estimation it is equal to  $lg \varepsilon(U) = 3.4$ . The identification of  $UI$  lines on the spectrograms obtained with the CCD-camera in the range  $\lambda 8440—8450 \text{ \AA}$  is not confirmed. Taking into account the influence of the secondary component of the system we obtain the abundances of 20 elements in the atmosphere of  $\beta$  CrB on the basis of the observational data published by Adelman.

### ЛИТЕРАТУРА

1. S. J. Adelman, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 26, 226, 1973.
2. L. Oetken, R. Orwert, *Astron. Nachr.*, 305, 315, 1984.
3. L. Oetken, *Proc. IAU Coll. № 90*, 355, 1986.
4. S. J. Adelman, S. N. Shore, *Astrophys. J.*, 183, 121, 1973.
5. S. J. Adelman, *Astrophys. J.*, 183, 95, 1973.
6. C. R. Cowley, G. C. L. Atkman, W. R. Fisher, *Publ. Domin. Astrophys. Observ.*, 15, 37, 1977.
7. A. B. Severny, L. S. Lyubimkov, *Proc. IAU Coll. № 90*, 327, 1986.
8. И. Х. Илиев, А. С. Любимков, И. С. Саванов, *Астрофизика*, 25, 237, 1986.
9. А. С. Любимков, Э. А. Самедов, *Изв. Крым. астрофиз. обсерв.*, 77, 97, 1987.
10. R. L. Kurucz, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, 1, 1979.
11. P. A. Voigt, *Phys. Rev. A*, 11, 1845, 1975.

12. Ч. Корлисс, У. Бозман, Вероятности переходов и силы осцилляторов 70 элементов, Мир, М., 1968, стр. 562.
13. W. F. Meggers, C. H. Corliss, B. F. Scribner, Tables of Spectral Line Intensities, NBS Monograph 145. 1975.
14. L. A. Hackel, M. S. Rushford, J. Opt. Soc. Amer., 68. 1084, 1978.
15. M. R. Hartoog, C. R. Cowley, S. J. Adelman, Astrophys J., 187. 551, 1974.
16. А. С. Любимков, Астрофизика, 31, 519, 1989.