

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 39

МАЙ, 1996

ВЫПУСК 2

УДК: 524.31.082

## О ВОЗМОЖНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ "F STR 4077" ЗВЕЗДЫ HD 177645 К БАРИЕВЫМ КАРЛИКАМ

И.С.САВАНОВ

Поступила 10 января 1996

Принята к печати 28 февраля 1996

На основе новых спектральных наблюдений с ПЭС - камерой методом моделей атмосфер определены содержания 12 элементов в атмосфере "F str 4077" звезды HD 177645. Найденный для нее избыток содержания азота позволяет сделать предположение о возможной принадлежности этой звезды к бариевым карликам, аномалии химического состава атмосфер которых обусловлены процессами перетекания вещества с более проэволюционировавшего компонента в двойной системе. Являясь объектом, родственным Ba звездам и CN субгигантам, при эффективной температуре  $T_{\text{eff}}=7150$  K HD 17745 вероятно обладает также аномальными химическим составом, присущими вследствие процессов диффузии химически-пиккулярным звездам верхней части главной последовательности, на что может указывать избыток содержания серы в ее атмосфере.

1. *Введение.* Группа "F str 4077" звезд была выделена Байделманом [1] на основе классификации спектров, полученных по наблюдениям с объективной призмой и насчитывает около 20 объектов. Норт, Берте и Ланц [2] установили, что примерно половину из них составляют бариевые карлики (или CN - субгиганты). Для объяснения появления аномалий содержания элементов в их атмосферах привлекаются гипотезы, основанные на процессах обмена веществом в двойных системах, аналогичные предложенным для бариевых (Ba) звезд. Остальные "F str 4077" имеют аномалии химического состава, сходные с наблюдаемыми у Am,  $\delta$  Del, Fm и Fp звезд. Изучение этой части группы "F str 4077" представляет особый интерес, поскольку эти звезды имеют эффективные температуры, приближающиеся к пределу, ниже которого процессы диффузионного разделения элементов становятся малоэффективными ( $T_{\text{eff}}=6300$  K). Всестороннее исследование "F str 4077" было представлено в серии статей Норта с соавторами. Были выявлены следующие основные свойства группы "F str 4077" звезд - это звезды главной последовательности; среди всех карликов спектрального класса F они немногочисленны, их число

составляет около 1%; они имеют кинематические свойства, типичные для звезд диска; наконец, их металличность чуть выше солнечной для звезд с  $T_{\text{eff}} > 6900$  К и несколько ниже солнечной для звезд с  $T_{\text{eff}} < 6900$  К. Более горячие "F str 4077", подобно Am и Ap звездам, как правило, имеют более медленное вращение.

Для нашего исследования мы выбрали достаточно яркую "F str 4077" звезду HD 177645 (BD+33 3310) ( $V=7.695$ ), входящую в число "горячих" "F str 4077" звезд [2]. Наша задача состояла в определении содержаний С, N, и О в атмосфере этой звезды, результаты которых могли бы служить аргументами для выбора механизма образования аномалий для нее, а также содержаний Са и Sc, аномалии которых являются характерными для Am и Fm звезд.

Таблица 1

## СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Элемент, длина волны, Å	$E_1$	$\lg gf$	$W_\lambda$	$\lg \varepsilon$
S I 8694.70	7.84	.15	.204	8.14
Si I 7415.95	5.61	-.63	.093	7.73
Mg I 5528.39	4.33	-.48	.167	7.42
Ca I 5512.99	2.93	-.50	.062	6.40
5588.75	2.51	.36	.150	6.35
6162.17	1.90	.09	.174	6.40
Sc II 5526.82	1.77	.18	.139	3.20
Cr I 7462.36	2.91	.14	.110	6.34
Cr II 5503.24	4.14	-2.25	.049	5.97
Fe I 5506.79	.99	-2.85	.069	7.17
5576.10	3.43	-.73	.079	7.14
7445.76	4.26	-.02	.078	7.04
Fe II 6149.24	3.89	-2.88	.100	7.77
Ni I 7422.28	3.63	-.01	.093	6.34
Y II 5509.91	.99	-1.24	.145	4.00
5521.59	1.74	-1.34	.100	4.12
Ba II 6141.72	.70	.27	.315	3.93

2. *Наблюдения.* Наблюдательный материал для HD 177645 был получен в течение 1994г. со спектрографом фокуса худе 2.6м телескопа Крымской астрофизической обсерватории. Приемником излучения служила ПЗС камера фирмы Астромед [3]. Спектральное разрешение составляло  $0.36\text{\AA}$  и  $0.18\text{\AA}$  для I и II порядков, соответственно, а отношение сигнала к шуму лежало в пределах от 60 до 100. Были получены спектрограммы 7 областей с центрами: 8720, 8680, 7450, 7420, 6155, 5580 и  $5515\text{\AA}$ , которые содержат линии 12 элементов (табл. 1). Редукция полученных спектрограмм включала в себя традиционные процедуры, привязка к шкале длин волн проводилась путем аппроксимации полиномом второго порядка положения линий спектра сравнения.

3. *Химический состав атмосферы.* Выбор параметров атмосферы HD 177645 обсуждается в статьях [4] и [5], и мы приняли рекомендованные этими авторами значения параметров  $T_{\text{eff}}=7150\text{ K}$ ,  $\lg g=3.55$ ,  $\xi_r=2.9\text{ км/с}$ . Отметим, что первые два параметра получены по калибровкам в Женевской фотометрической системе, использование цветов в системе Стремгrena-Перри привело (см. [4]) к несколько более высоким значениям этих параметров для HD 177645 ( $T_{\text{eff}}=7280\text{ K}$ ,  $\lg g=3.61$ ). Применение теоретической калибровки [5] для  $[c_1]$  и  $\beta$  устраняет различия в  $T_{\text{eff}}$  и  $\lg g$ , установленные по двум упомянутым фотометрическим системам. Следует иметь в виду, что для звезды с  $T_{\text{eff}}=7100\text{ K}$  влиянием понижения индекса  $c_1$  вследствие эффекта Бонда - Неффа [6], характерного для SN - субгигантов, можно пренебречь. Модель с указанными выше параметрами была интерполирована из сетки моделей Куруца [7]. Для вычислений использовался комплекс программ, разработанных в Крымской обсерватории (см. [8]) и адаптированных для персональных компьютеров.

Результаты определений содержаний элементов представлены в табл. 1. Для повышения достоверности результатов мы нашли также окончательные значения содержаний, усреднив с учетом числа линий наши результаты и данные [2] (табл. 2). Кроме того, нами были использованы значения содержаний элементов, не относенные к звезде сравнения (табл. 22 и 23 в статье [9]). Процедура усреднения кажется нам оправданной, так как в обоих случаях применены модели с одинаковыми параметрами и сходные системы сил осцилляторов, большей частью опубликованных Тевенином [10, 11]. В дальнейшем анализе мы будем использовать усредненные данные.

Поскольку определение содержаний C, N и O представляет собой

Таблица 2

## УСРЕДНЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ

Элемент	$\lg \epsilon$ , Крым	Число линий	$\lg \epsilon$ , - $\lg \epsilon_0$ средние знач.	Число линий
C I	8.5	<i>a</i>	-0.10	<i>a</i>
N I	8.3	<i>a</i>	+0.30	<i>a</i>
O I	8.8	<i>a</i>	-0.13	<i>a</i>
Si I	7.73	1	+0.16	2
S I	8.14	1	+0.64	3
Mg I	7.42	1	-0.16	1
Ca I	6.38	3	+0.05	4
Sc II	3.20	1	+0.10	1
Cr I	6.36	1	+0.69	1
Cr II	5.97	1	+0.30	1
Fe I	7.12	3	-0.08	12
Fe II	7.77	1	+0.35	2
Ni I	6.34	1	+0.25	5
Y II	4.06	2	+1.75	5
Zr II			+1.39	1
Ba II	3.45	1	+1.32	1
La II			+1.32	1
Nd II			+0.96	1

*a* - расчеты синтетического спектра

интерес в рамках данного исследования, то мы провели его, используя метод синтетического спектра, учитывающего влияние блендирования окружающих линий. Содержания остальных элементов были найдены по эквивалентным ширинам их линий. Для определения величины  $\lg \epsilon(C)$  использовались 6 спектральных линий C I в диапазоне 7108Å - 7120Å, которые дали среднее значение величины  $8.5 \pm 0.10$ , ниже на 0.2 dex, чем было найдено из анализа  $W_\lambda$  этих же линий C I. Содержание азота определено по линиям двух спектральных диапазонов - около 7450Å (линии N I 7442Å и 7462Å) и 8680 - 8720Å (4 линии N I). Обе группы линий дали сходную величину содержания азота  $\lg \epsilon(N) = 8.3$ , также отличающуюся от результата анализа  $W_\lambda$  линии N I на -0.3 dex. Наконец, содержание кислорода было найдено по трем линиям 10 мультиплета

O I -  $\lg \epsilon(O) = 8.8$ , которое может быть установлено только из расчетов синтетических спектров вследствие значительного блендирования этих линий. Мы отдали предпочтение линиям 10 мультиплета O I, как наименее подверженным влиянию эффектов отклонения от ЛТР. Сопоставление наблюдаемых и теоретических спектров позволило оценить величину проекции скорости вращения на луч зрения  $V \sin i = 20 \pm 3$  км/с, которая согласуется с измерениями Норта и Дюкуоя [12]  $V \sin i = 22.9 \pm 1.0$  км/с.

Среди содержаний легких элементов обращает на себя внимание избыток серы, достигающий чуть менее одного порядка. Аналогичный избыток S в атмосферах химически-пекулярных (CP) звезд был зарегистрирован в исследовании Садакане и Окуда [13]. Содержания других легких элементов близки к солнечным. Содержание кальция установлено по двум линиям Ca I и свидетельствует о солнечном содержании этого элемента в атмосфере HD 177645. Наш результат подтверждает оценку [9] величины  $[Ca/H]$  по линии 6717A. Другой элемент - Sc, также имеющий дефицит в атмосферах многих Am и Fm звезд, имеет содержание чуть выше солнечного. Однако этот факт нельзя рассматривать как однозначно указывающий на отсутствие принадлежности HD 177645 к классу CP звезд, так как многие Am (умеренные "металлические" звезды) и некоторые классические Am (например, 15 Vul - [14]) имеют аналогичные содержания Ca и Sc.

Содержание железа, определенное по линиям Fe I, оказалось ниже, чем дают результаты по линиям Fe II, как по нашим данным, так и по результатам [2]. В совокупности 12 линий нейтрального железа свидетельствуют о величине  $[Fe/H] = -0.08$ . Величина  $\lg \epsilon(Fe)$  по линиям Fe II (по одной линии в каждом исследовании) указывает на избыток железа. Мы считаем результат, установленный по линиям иона железа менее достоверным и отметим, что в исследовании [2] обсуждается данная проблема, поскольку в его рамках она существует даже для изученных ранее нормальных звезд.

Совокупность содержаний элементов s - процесса (от Y до Nd) очевидно указывает на их избытки в атмосфере HD 177645.

4. *Обсуждение результатов.* Полученные нами результаты определения содержаний элементов в атмосфере "F str 4077" звезды HD 177645 были сопоставлены с имеющимися в литературе данными для атмосфер бариевого гиганта, CN- субгигантов, бариевого карлика HR 107, M, MS, S звезд и Am звезды, исследованной ранее нами по

аналогичной методике (табл. 3). На основе данных табл. 3 попробуем сделать заключения о возможной принадлежности HD 177645 к группе Ва карликов или группе CP звезд. Ни небольшой дефицит железа, ни нормальные содержания кальция и скандия, ни избытки редкоземельных элементов, значительных как у Ва, так и у Am-Fm звезд, не дают однозначного заключения. По нашему мнению, ключевую роль могут играть лишь значения содержаний C, N и O, и в первую очередь - избыток азота. Именно по этому признаку исследуемая нами звезда ближе всего к Ва звездам и может быть отнесена к числу самых горячих из известных бариевых карликов. Атмосферы большинства CP звезд характеризуются пониженным содержанием азота; так, например, согласно исследованиям Роби и Ламберта [15] средний дефицит N составляет  $-0.37$  (13 Am звезд),  $-0.78$  (9HgMn звезд),  $-0.73$  (8 SrCrEu звезд),  $-0.35$  (7 Si звезд) (все величины в dex), при значении  $[N/H]$  около  $-0.1$  для 10 стандартных звезд. К аналогичному выводу пришли Садыкане и Окудо [13] в ходе своего исследования 12 звезд спектрального класса A -  $[N/H]=-0.27$ . Среди звезд этих исследований, как возможный горячий бариевый карлик, заслуживает упоминание еще одна Am звезда, O Peg, peculiarity и магнетизм которой привлекли к ней внимание в последние годы [16] и которая, согласно данным [13], имеет существенный избыток

Таблица 3

## СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Величина	HD 177645	HR 107 <sup>1</sup>	CH <sup>2</sup>	HR 774 <sup>3</sup>	15 Vul <sup>4</sup>	M,MS,C <sup>5</sup>
[Fe/H]	-0.1	-0.5	-0.3	-0.3	0.0	-0.01
[C/Fe]	-0.2	+0.1	+0.7	-0.2	-0.1	-0.11
[N/Fe]	+0.4	0.0	-	+0.4	0.0	+0.49
[O/Fe]	-0.1	0.1	+0.3	0.0	-0.3	0.00
[Y/Fe]	+1.8	+0.7	+1.1	+1.2	+0.9	
[Zr/Fe]	+1.5	+0.4	+0.1	+1.1	+0.4	
[Ba/Fe]	+1.4	+0.4	0.0	+1.3	+0.6	
[La/Fe]	+1.4			+1.4	+1.2	
[Ce/Fe]		+0.3	+0.8	+1.3	+1.1	
[Nd/Fe]	+1.0			+1.5	+0.9	
[Eu/Fe]		+0.2	+0.2	+0.6	+0.5	

<sup>1</sup> - [21], <sup>2</sup> - [22,23], <sup>3</sup> - [24,25], <sup>4</sup> - [14,26], <sup>5</sup> - [18]

азота ( $[N/H]=+0.21$ ). Отметим, что избыток азота имеет и Сириус ( $\alpha$  CMa), который принято относить к Am звездам. Для его атмосферы величина  $\lg \varepsilon(N)$  составляет 8.15 [17], но при избытке содержания железа равного 0.4 dex, величина  $[N/Fe]=-0.25$  является сопоставимой с аномалиями азота у других CP звезд.

Очевидно, что в случае наличия процессов диффузии в атмосферах CP звезд, выделение объектов, аномалии которых частично или полностью связаны с процессами переноса вещества с более проэволюционировавшего компонента, крайне затруднено. Таким образом, горячие барьерные карлики среди звезд спектрального класса A могут иметь аномалии химического состава, присущие как Ba звездам, так и носящие дополнительно следы влияния процессов диффузии в их атмосферах, о чем, например, в случае HD 177645 может свидетельствовать избыток S, характерный для CP звезд [13]. Можно предположить, что критерием для выделения Ba карликов среди CP звезд может быть аномалия содержания азота. При этом аномалии содержания тяжелых элементов могут носить более сложный характер, чем просто вследствие процессов диффузии, или когда они имеют только ядерное происхождение.

Процессы диффузии могут приводить также к понижению содержания углерода (как это наблюдается для других CP звезд [15]), и, как следствие, отсутствию в атмосфере HD 177645 избытка содержания C, характерного для CN - субгигантов. Несмотря на то, что перенос вещества мог осуществляться с гиганта асимптотической ветви, имеющего различную степень химической peculiarity (от M, MS до C), сравнение с данными [18] о содержаниях C, N и O в атмосферах M, MS и C звезд указывает на хорошее согласие величин  $[C/Fe]$ ,  $[N/Fe]$ ,  $[O/Fe]$  в атмосферах HD 177645 и гигантов асимптотической ветви (последний столбец табл. 3). Среднее значение C/O для исследуемой составляет 0.56 и хорошо согласуется со средней величиной C/O, равной 0.45 для M звезд и 0.64-0.81 для MS, S звезд.

Хорошо известно, что аномалии содержания элементов не являются единственным критерием для определения принадлежности HD 177645 к барьерным карликам. Дополнительным указанием на это могла бы служить принадлежность HD 177645 к классу долгопериодических спектральных двойных с малой амплитудой лучевых скоростей (как, например, это было сделано МакКлором [19] для ряда CN - субгигантов). Имеющиеся наблюдения Норта и Дюкуном [12] указывают лишь на

величину  $\Delta V_r = 3.4$  км/с, причем, как отмечают эти авторы, на диаграмме  $T_{\text{eff}} - \lg g$  звезда попадает в полосу неустойчивости и такие изменения  $\Delta V_r$  могут быть связаны с пульсациями звезды. Кроме того, гипотеза о перетекании вещества в двойной системе предполагает наличие в ней белого карлика, который мог бы быть обнаружен по УФ спектральным наблюдениям. Задача установления двойственности HD 177645 (как и ряда других бариевых карликов) представляет несомненный интерес.

Из сопоставления с эволюционными расчетами [20], считая, что эволюция звезды проходила как эволюция одиночной звезды, а избытки элементов отражают лишь аномалии поверхностных слоев звезды, мы установили, что масса звезды составляет  $2.1 \pm 0.2$  массы Солнца и находится в очень хорошем согласии с результатом [12] -  $2.18 \pm 0.14$ . Радиус звезды составляет около 4 радиусов Солнца, а совместимость - 37 солнечных светимостей. Звезда уже заканчивает свою эволюцию на Главной последовательности. Возраст звезды может быть оценен, как 1.1 - 1.2 миллиарда лет.

Автор благодарит др-а П.Норта (Швейцария) за привлечение внимания к проблеме исследования "F str 4077" звезд.

Крымская астрофизическая  
обсерватория

## HD 177645 AS A POSSIBLE BARIUM DWARF STAR

I.S.SAVANOV

On the base of new spectral observations with CCD camera using model atmosphere method abundances of 12 elements in the atmosphere of "F str 4077" star HD 177645 were determined. Overabundance of Nitrogen in its atmosphere indicates on the possibility of its relation to Ba dwarfs with anomalies of the chemical composition created due to transfer of mass from the evolved companion in a binary system. Showing the similarities of composition with CH subgiants and Ba dwarfs HD 177645 with  $T_{\text{eff}} = 7150$  K may also possess abundance anomalies of CP stars as for example can be found from S overabundance in its atmosphere.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *W.P.Bidelman, Astron.J.*, 86, 553, 1981.
2. *P.North, S.Berthet, T.Lanz, Astron. Astrophys.*, 281, 775, 1994.
3. *J.Huovelin, M.Poutanen, I.Tuominen, Helsinki Univ.of Techn. Radio Lab. Rep.*, S166, 18, 1986.
4. *P.North, Astron. Astrophys.*, 186, 191, 1987.
5. *R.L.Kurucz, Harv.-Smith. Center for Astrophys. Prepr. ser. No 3181*, 1991.
6. *H.E.Bond, J.S.Neff, Astrophys. J.* 1969, 158, 1235, 1969.
7. *R.L.Kurucz, Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, 1 1979.
8. *Л.С.Любимсов, Изв. Крымск. астрофиз. общ.*, 74, 3, 1986.
9. *P.North, S.Berthet, T.Lanz, Astron. Astrophys. Suppl. ser.* 103, 321, 1994.
10. *F.Thevenin, Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 77, 137, 1989.
11. *F.Thevenin, Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 82, 179, 1990.
12. *P.North, A.Duquennoy, Astron. Astrophys.*, 224, 335, 1991.
13. *K.Sadakane, M.Okuyudo, PASJ*, 41, 1055, 1989.
14. *Л.С.Любимсов, И.С.Саванов, Изв. Крымск. астрофиз. общ.*, 69, 50, 1984.
15. *S.W.Roby, D.L.Lambert, Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 73, 67, 1990.
16. *G.Mathys, T.Lanz, Astron. Astrophys.*, 230, L21, 1990.
17. *D.L.Lambert, S.W.Roby, R.A.Bell, Astrophys. J.*, 254, 663, 1982.
18. *V.V.Smith, D.L.Lambert, Astrophys. J.* 311, 843, 1986.
19. *R.D.McClure, in: Cool Stars with Excesses of Heavy Elements, Eds. M. Jaschek and P.C.Keenan (Dordrecht: Reidel), 1985, p. 315.*
20. *G.Bertelli, A.Bressan, C.Chiosi, K.Angerer, Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 66, 191, 1986.
21. *J.Tomkin, D.L.Lambert, B.Edvardsson, et al. Astron. Astrophys.*, 219, L15, 1989.
22. *R.E.Luck, H.E.Bond, Astrophys. J.*, 259, 792, 1982.
23. *R.E.Luck, H.E.Bond, Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 77, 515, 1991.
24. *J. Tomkin, D.L.Lambert, Astrophys. J.*, 227, 209, 1979.
25. *J. Tomkin, D.L.Lambert, Astrophys. J.*, 273, 722, 1983.
26. *И.С.Саванов, Астрон. ж.*, 72, 590, 1995.

