

УДК: 52—36

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ θ Vir

В. М. ДОБРИЧЕВ, Т. А. РЯБЧИКОВА, Д. В. РАЙКОВА

Поступила 8 января 1986

Принята к печати 25 октября 1986

По спектральным наблюдениям с дисперсией 4.2 А/мм проведен анализ химического состава атмосферы звезды θ Vir (HD 114330, HR 4963) методом моделей атмосфер. Выбрана модель с параметрами $T_{\text{эфф}} = 9500$ К и $\lg g = 3.6$. Получена микротурбулентная скорость $\xi_t = 1.5$ км/с. Установлено повышенное содержание тяжелых элементов Sr, Y, Zr и Ba, что позволяет отнести θ Vir к горячим Am-звездам, но с нормальным содержанием Ca и Sc. Кроме того Ti и V показывают также повышенное содержание.

1. *Введение.* Звезда θ Vir (HD 114330, HR 4963) спектрального класса A IV имеет очень узкие линии без заметных аномалий интенсивности. В ее спектре разделяются многие линии, которые блендированы в спектрах таких звезд, как α Lyr, γ Gem и α CMa. Поэтому она была использована для определения эффективных длин волн звездных спектральных линий, несбходимых при поисках дифференциальных смещений линий в спектрах ранних сверхгигантов [1]. θ Vir была рекомендована и как фотометрический стандарт [2]. В системе Стремгрена она имеет следующие цветовые индексы: $b - y = 0.007$, $m_1 = 0.142$, $c_1 = 1.148$, $\beta = 2.838$ [3]. Поскольку θ Vir является одной из немногих звезд главной последовательности с узкими линиями вблизи спектрального класса A0, где расположено подавляющее большинство пекулярных A-звезд, ее удобно использовать и как стандарт химического состава A-звезд.

Содержание элементов в атмосфере θ Vir определялось Конти и Строммом [4]. Однако они использовали в фотографической области спектра всего лишь 120 линий, а, кроме того, с тех пор были уточнены системы сил осцилляторов для многих элементов, в частности для железа. Добричев и Райкова [5] отождествили и измерили около 500 линий в спектральном диапазоне 2800—4800 А. Нижний предел измеренных эквивалентных шири в спектре θ Vir составляет ~ 10 mА, он определяется фотографическим шумом и неопределенностью проведения континуума. По этим данным в

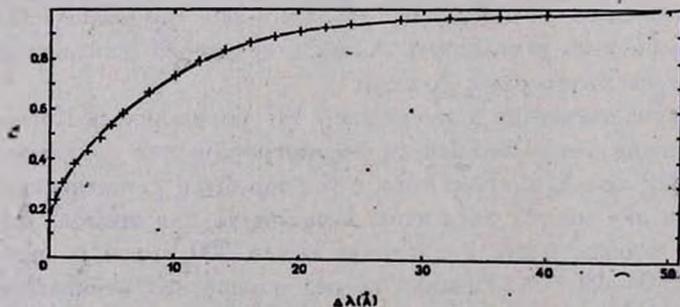
настоящей работе проведен анализ химического состава атмосферы θ Vir, с использованием более современных моделей атмосфер Куруча и др. [6] и более точных значений сил осцилляторов, чем в работе [4].

2. *Наблюдения и обработка.* По программе Добричева поиска и исследования звезд с узкими спектральными линиями куде-спектрографом 2-м телескопа Национальной астрономической обсерватории (Рожен) Болгарской Академии наук было получено пять спектрограмм θ Vir в фотографической области λ 3700—4800 Å на пластинках Па-О. Спектры расширены до 1 м. Данные о наблюдениях приведены в табл. 1. Измерение эквивалентных ширин проводилось методом Добричева [7].

Таблица 1

Камера и номер спектра	Дата (UT)	Дисперсия (Å/мм)
3к-433	17.01.1982	4.2
2к-990	12.02.1982	9
3к-477	30.01.1983	4.2
3к-487	30.04.1983	4.2
3к-488	3.05.1983	4.2

3. *Выбор модели атмосферы и анализ химического состава.* Эффективная температура θ Vir определялась по индексам Стремгрена с калибровкой Рэлея и Куруча [8] и по значению $D = 0.58$ бальмеровского скачка, оцененного по спектрам. Все эти критерии указывают на $T_{\text{эфф}} = 9500$ К. Используя эту температуру, путем сравнения теоретического и наблюдаемого профилей $H\gamma$ мы определили эффективное ускорение силы тяжести $\lg g = 3.6$. На рис. 1 приведено сравнение наблюдаемого и наилучшим образом соответствующего ему теоретического профиля $H\gamma$ из работы [6].

Рис. 1. Сравнение наблюдаемого (—) и теоретического (+) профилей линии $H\gamma$.

Полученное значение эффективной температуры θ Vir согласуется со спектральным классом A IV и с небольшой интенсивностью наблюдаемых линий He I, а значение эффективного ускорения силы тяжести согласуется с номером последней наблюдаемой линии бальмеровской серии H₂₀.

Поскольку линии в спектре θ Vir очень узкие, то для анализа химического состава было использовано максимально возможное количество линий в фотографическом диапазоне, для которых имелись достаточно надежные значения сил осцилляторов. Ссылки на источники $\lg(gf)$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Ион	$\lg N_{\text{эл.}}/N_{\text{H}}$	α	Число линий	Ссылка на $\lg(gf)$	$\lg N_{\text{эл.}}/N_{\text{H}}$ на Солнце	$\lg N_{\text{эл.}}/N_{\text{H}}$ в В-звездах
Mg I	-4.42	± 0.18	4	9, 10	-4.42	-4.13
Mg II	-4.48	0.08	7	9		-4.26
Al I	-5.79		2	9	-5.53	-5.87
Si II	-4.27	0.09	5	9	-4.45	-4.45
Ca I	-5.40	0.10	8	9	-5.64	
Ca II	-5.72		1	9		
Sc II	-8.93	0.10	8	11	-8.90	-9.17
Ti II	-6.52	0.13	41	11, 12	-6.98	-7.04
V II	-7.23	0.12	18	13	-8.00	
Cr I	-6.23	0.05	3	13	-6.33	-5.91
Cr II	-6.14	0.13	27	12, 14, 15		-5.82
Mn I	-6.76	0.06	4	16	-6.55	
Mn II	-6.72	0.19	6	14, 12a		
Fe I	-4.34	0.07	39	17, 18b, 19, 20, 21	-4.33	-4.32
Fe II	-4.37	0.08	26	18c, 22		-4.44
Ni I	-5.35	0.04	4	23	-5.75	
Ni II	-5.58	0.07	6	14d		-6.74
Sr II	-8.16	0.12	4	24	-9.10	-9.04
Y II	-8.98	0.08	6	25	-9.76	
Zr II	-8.55	0.10	18	26	-9.44	
Ba II	-8.94		2	27	-9.87	

a — значения $\lg(gf)$ приведены к системе Уорнера [14].

b — значения $\lg(gf)$ приведены к оксфордской системе.

c — значения $\lg(gf)$ приведены к системе Мойти [22].

d — нуль-пункт системы $\lg(gf)$ Уорнера [14] смещен на -0.90.

Содержание элементов рассчитывалось методом моделей атмосфер с использованием моделей Куруча и др. [6]. По программе, составленной в Астрономическом совете АН СССР Н. Е. Пискуновым, для выбранной модели атмосферы θ Vir и набора значений $\lg N_{эл.}/N_H$ и микротурбулентной скорости ξ_t были рассчитаны теоретические интенсивности (теоретические кривые роста) некоторых спектральных линий, которые являются типичными для группы мультиплетов с близкими значениями энергии возбуждения нижнего уровня. Для остальных линий из этой группы содержание элемента определялось по измеренным эквивалентным ширинам и рассчитанным теоретическим кривым роста. Во всех расчетах, за исключением линий Mg II, Ca II, Si II и Sr II, принималось значение постоянной затухания $\gamma = 10 \gamma_{эл.}$ для переходов с возбужденных уровней и $\gamma = \gamma_{эл.}$ для переходов с основного уровня. Для Mg II, Ca II, Si II и Sr II расчеты теоретических интенсивностей линий проводились для каждого мультиплета отдельно с постоянными затухания, приведенными в работе [28]. Параметр микротурбулентной скорости ξ_t выбирался по линиям Fe I обычным требованием, чтобы содержание железа не зависело от интенсивности линии. Для θ Vir было получено значение $\xi_t = 1.5$ км/с.

Среднее по всем линиям содержание 15 элементов в атмосфере θ Vir представлено в табл. 2. Среднеквадратическое отклонение σ указывает на хорошую внутреннюю сходимости полученных результатов. Согласно содержанию железа, полученного отдельно по линиям Fe I и Fe II, для которых в настоящее время имеется самая лучшая система сил осцилляторов, указывает на правильный выбор модели атмосферы. Расхождение содержания Cr и Ni по отдельным ионам связано, главным образом, с неточным значением нуля-пункта системы сил осцилляторов Уорнера [14] для однократно ионизованных элементов. Чтобы привести в согласие содержание Cr и Ni в θ Vir по нашим данным, надо ввести сдвиг нуля-пункта системы сил осцилляторов [14] для Cr II на + 0.24 и для Ni II на — 1.14. Однако эти величины можно рассматривать только как предварительные, поскольку при данной $T_{эф}$ для определения точного содержания Cr и Ni по линиям нейтральных атомов в фотографической области спектра наблюдается очень мало линий.

4. *Обсуждение.* Для сравнения в табл. 2 приведено содержание исследованных элементов на Солнце из работы [29], и в В-звездах из работы [30]. Видно, что из элементов группы железа Ti и V показывают повышенное содержание по сравнению с солнечным. Из остальных только тяжелые элементы Sr, Y, Zr и Ba имеют избыток. Полученный небольшой дефицит алюминия обусловлен, скорее всего, использованием для анализа содержания двух резонансных линий Al I, одна из которых находится в крыле водородной линии H $_{\alpha}$.

Из-за повышенного содержания тяжелых элементов θ Vir можно рассматривать как горячую Am-звезду, в которой, однако, содержание Ca и Sc нормально. С другой стороны, содержание тяжелых элементов повышено и в пекулярных A-звездах. Таким образом, мы приходим к известному заключению, что существует непрерывный переход от Am к Ar звездам [31—33], и если феномен Am—Ar звезда, согласно теории диффузии, связан с медленным вращением, остается открытой проблема существования нормальных A-звезд — быстрых ротаторов, наблюдаемых почти со стороны полюса. При случайной ориентации осей вращения этого следует ожидать. Впрочем, необходимо больше наблюдений в поисках таких звезд.

Секция астрономии с Национальной
астрономической обсерваторией
Болгарской Академии наук
Астрономический совет АН СССР

MODEL ATMOSPHERE ABUNDANCE ANALYSIS OF θ Vir

V. M. DOBRICHEV, T. A. RIABCHIKOVA, D. V. RAIKOVA

Model atmosphere analysis of the star θ Vir (HD 114330, HR 4963) have been carried out using spectra with the dispersion of 4.2 Å/mm. The parameters of adopted model are the followings: $T_e = 9500$ K, $\lg g = 3.6$ and microturbulent velocity $\xi_t = 1.5$ km/s. The obtained overabundance of heavy elements such as Sr, Y, Zr and Ba permits us to classify θ Vir as Am star with normal abundance of Ca and Sc. The elements Ti and V are also overabundant in atmosphere of θ Vir in comparison with normal solar abundance of other iron-peak elements.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Добричев, Е. А. Ченцов, Э. У. Шагаюшева, *Астрофизика*, исслед. (Изв. САО), в печати.
2. B. J. Taylor, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 54, 259, 1984.
3. N. R. Stokes, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 160, 155, 1972.
4. P. S. Conti, S. E. Strom, *Astrophys. J.*, 154, 975, 1968.
5. В. Добричев, Д. Райкова, *Астрофиз. исслед.* (Болг. АН), в печати.
6. R. L. Kurucz, E. Peytremann, E. H. Avrett, *Blanketed Model Atmospheres for Early-Type Stars*, Smithsonian Inst. Press, Washington, 1974.
7. В. М. Добричев, *Изв. Секция астрон. БАН*, 4, 47, 1970.
8. L. J. Relyea, R. L. Kurucz, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 37, 45, 1978.
9. W. L. Wiese, M. W. Smith, B. M. Miles, *Atomic Transition Probabilities*, vol. II, NSRDS-NBS, 22, USA, 1969.
10. A. R. Schafer, *Astrophys. J.*, 163, 411, 1971.

11. *W. L. Wiese, J. R. Fuhr*, J. Phys. Chem. Ref. Data, 4, 263, 1975.
12. *R. L. Kurucz, E. Peytremann*, SAO Spec. Rep., No. 362, 1975.
13. *S. M. Younger, J. R. Fuhr, G. A. Martin, W. L. Wiese*, J. Phys. Chem. Ref. Data, 7, 495, 1978.
14. *B. Warner*, Mem. Roy. Astron. Soc., 70, 165, 1967.
15. *H. G. Groth*, Z. Astrophys., 51, 231, 1961.
16. *D. E. Blackwell, B. S. Collins*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 157, 255, 1972.
17. *D. E. Blackwell, P. A. Ibbetson, A. D. Petford, M. J. Shallis*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 186, 63, 1979.
18. каталог Астрономического совета АН СССР (не опубликован).
19. *D. E. Blackwell, A. D. Petford, M. J. Shallis*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 186, 657, 1979.
20. *D. E. Blackwell, A. D. Petford, M. J. Shallis, G. J. Stimmans*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 191, 445, 1980.
21. *D. E. Blackwell, A. D. Petford, M. J. Shallis, G. J. Stimmans*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 199, 43, 1982.
22. *J. Molty*, Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 52, 37, 1983.
23. *J. R. Fuhr, G. A. Martin, W. L. Wiese, S. M. Younger*, J. Phys. Chem. Ref. Data, 10, 305, 1981.
24. *B. Warner*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 139, 115, 1968.
25. *P. Hannaford, R. M. Lowe, N. Grevesse, E. Blèmont, W. Whaling*, Astrophys. J., 261, 736, 1982.
26. *N. Grevesse, E. Blèmont, P. Hannaford, R. M. Lowe*, Upper Main Sequence Chemically Peculiar Stars, 23-rd Liège Astrophys. Colloq. No. 211, 1981.
27. *W. L. Wiese, G. A. Martin*, NSRDS-NBS 68, part 2 (US Government Printing Office; Washington, DC), 1980.
28. *Д. А. Пгицын, Т. А. Рябчикова*, Астрон. ж., 63, 527, 1986.
29. *N. Grevesse*, Phys. Scr., T8, 49, 1984.
30. *S. J. Adelman*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 206, 637, 1984.
31. *P. S. Conti*, Astrophys. J., 142, 1954, 1965.
32. *D. J. Stickland, J. A. J. Whelan*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 155, 11, 1972.
33. *M. A. Smith*, Astrophys. J., 189, 101, 1974.