

УДК 524.316.4.022—852—36

СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППЫ ПАЛЛАДИЯ В АТМОСФЕРАХ ПРОЭВОЛЮЦИОНИРОВАВШИХ ЗВЕЗД. II. РУТЕНИЙ

М. Я. ОРЛОВ, А. В. ШАВРИНА

Поступила 20 декабря 1989

Принята к печати 25 января 1990

По спектрограммам с дисперсией 6 Å/мм методом синтетического спектра определено содержание рутения в атмосферах К-гигантов 9 Boo, ρ Boo, 39 Cyg. Приводятся также данные о содержании этого элемента в атмосферах других проэволюционировавших звезд.

Рутений ^{100}Ru образуется в ходе реакций s-процесса при захвате нейтрона атомом технеция ^{99}Tc . Определение его содержания в атмосферах звезд разных спектральных классов важно для понимания процесса нуклеосинтеза на поздних стадиях звездной эволюции. Такие определения весьма немногочисленны.

Фой [1, 2], используя метод моделей атмосфер, получил содержания рутения для К-гиганта населения I типа γ Psc, трех К-гигантов с большими скоростями, HD 5780, HD 37763, HD 41312 и трех G, К-гигантов с малыми микротурбулентными скоростями, α^1 Car, ρ Gru, δ PsA. Комаров и Мишенина [3] методом синтетического спектра определили содержание рутения в атмосферах трех К-гигантов из рассеянного скопления Гиад, γ Tau, δ Tau, ε Tau. Томкин и Ламберт [4], Ламберт [5], Кришнасвами и Сведен [6] привели результаты для трех бариевых звезд, HR 774, ζ Car, HD 216219, полученные методом моделей атмосфер и синтетического спектра. Из М-гигантов исследовалась только β Peg, для которой результаты, полученные методом кривых роста (Ветешник [7]) и методом моделей атмосфер (Орлов, Шаврина [8]) по эквивалентным ширинам одних и тех же линий Ru I, отличаются в ~10 раз. Смит и Уоллерстейн [9] методом кривых роста определили содержание рутения у четырех звезд классов S и SC (S UMa, R CMi, FU Mon, GP Ori).

Настоящая работа посвящена анализу содержания рутения в атмосферах трех К-гигантов, 9 Boo, ρ Boo, 39 Cyg, по спектрограммам с

дисперсией 6 А/мм, полученным М. Е. Боярчук в фокусе куде 2.6-м телескопа Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. Первоначально мы выбрали три линии нейтрального рутения: 4584.44 А ($a^3F - z^5 G^0$), 4709.48 А ($b^3F - z^3 F^0$), 5636.24 А ($a^5D - z^5 D^0$) с потенциалами возбуждения нижнего уровня 0.99, 1.12 и 1.05 эВ соответственно. Однако последняя линия практически совпадает по длине волны с линией FeI (5636.225 А, для которой нет надсжно определенной силы осциллятора. Но даже если не включать в расчеты эту линию железа, то, принимая для линии рутения $\lg gf = +0.19$ из [11], получим содержание рутения в исследуемых звездах на порядок ниже, чем по двум другим линиям. Если же использовать более низкое значение $\lg gf = -1.20$ [10], то пределы содержания [Ru/H] составят -0.65 (при включении линии железа с силой осциллятора из [10]) и $+0.35$ (без нее). Поэтому мы исключили из рассмотрения линию рутения 5636.24 А. Мы рассчитали синтетический спектр в области первых двух линий рутения (4582 — 4587 А и 4707 — 4712 А), включив все атомные линии из списка Куруца и Пейтремана [10], линии полосы (0,2) фиолетовой системы CN и полос (1,0), (2,1) системы Свана S_2 . Линии S_2 (достаточно интенсивные) не вносят вклад в профили линий рутения. Были уточнены силы осцилляторов по данным новых сводок и определений. Для рассматриваемых линий Ru I мы приняли новые значения $\lg gf$, определенные Гуртовенко и Костыком [11]: -0.31 (4584.44 А) и -0.01 (4709.48 А). Расчеты моделей атмосфер проводились по программе SAM 1 [12], модифицированной в Тартуской астрофизической обсерватории АН ЭССР (были включены дополнительно молекулярные источники непрозрачности) [13].

Для контроля используемой методики и надежности принятых значений сил осцилляторов мы вначале рассчитали синтетический спектр для звезд-стандартов γ Тау, δ Тау и сравнили с наблюдаемыми спектрами из атласа [14] (дисперсия 3.2 А/мм). Принятые параметры атмосфер и полученные результаты приведены в табл. 1. Содержания рутения с учетом ошибок (± 0.2 dex) близки к солнечному.

Затем были рассчитаны синтетические спектры для исследуемых трех К-гигантов. Использовались параметры атмосфер из [15, 16] и содержания С, N, O из [17]. Сопоставление с наблюдаемыми спектрами показало, что содержание рутения в атмосферах 9 Boo , $\rho \text{ Boo}$, 39 Cug примерно одинаково и составляет $[\text{Ru}/\text{H}] \approx -0.15$ (табл. 1). Для сравнения в табл. 2 мы приводим результаты для других G-, K-гигантов, полученные в [1—3]. Сводка результатов определений содержания рутения в атмосферах бариевых, M- и S-звезд дана в табл. 3. Мы не включили в таблицу более старые результаты для бариевых звезд, полученные методом кривых роста [18, 19].

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ И СОДЕРЖАНИЕ РУТЕНИЯ В АТМОСФЕРАХ ИССЛЕДУЕМЫХ ЗВЕЗД

Звезда	S_p	T_{eff} , К	$\lg g$	v_t , км/с	[Ru/H]	Дисперсия	Линии Ru I
γ Tau	K 0 ⁻ III ab	5000	2.1	1.7	+0.15	3.2 А/мм	4584.44, 4709.48 А
δ Tau	K 0 ⁻ III	5000	2.1	1.7	+0.25	"	"
9 Boo	K3 III	4200	1.5	2.3	-0.15	6 А/мм	"
ρ Boo	K3 III	4400	1.5	2.0	-0.15	"	"
39 Cyg	K3 III	4400	1.7	1.7	-0.15	"	"

Таблица 2

СОДЕРЖАНИЕ РУТЕНИЯ В АТМОСФЕРАХ ДРУГИХ G- И K-ГИГАНТОВ

Звезда	S_p	[Ru/H]	[Ru/Fe]	Дисперсия	Линии Ru I	Литература
α^1 Cap	G9 III	-0.40	-0.48	12.4 А/мм	не приводятся	[2]
ρ Gru	G8 III	-0.10	+0.10	"	"	"
δ PsA	G8 III	-0.80	-0.60	"	"	"
ν Psc	K3 III	-0.7	-0.4	"	"	[1]
HD 5780	K4 III	+0.02	+0.8	"	"	"
γ Men	K4 III	-0.3	-0.4	"	"	"
HD 41312	K3 III	-1.2	-0.6	"	"	"
γ Tau	K 0 ⁻ III ab	-0.15	-0.26	5.6 А/мм	5636.24 А	[3]
δ Tau	K 0 III	+0.10	+0.10	"	"	"
ε Tau	G 9.5 III	+0.05	-0.04	"	"	"

Таблица 3

СОДЕРЖАНИЕ РУТЕНИЯ В АТМОСФЕРАХ БАРИЕВЫХ, M- И S-ЗВЕЗД

Звезда	S_p	[Ru/H]	[Ru/Fe]	Разрешение (дисперсия) спектрограмм	Линии Ru I	Литература
1	2	3	4	5	6	7
HR 774	G8p, Ba3	+0.46	+0.78	0.04—0.05 А	4584.44, 5309.27 А	[4.5]
ζ Cap	G4IIp, Ba3	+0.32	+0.43	"	"	[5]
HD 216219	G2IIp, Ba0	+0.63	+1.17	-0.13 А	4757.84 А	[6]
β Peg	M 2 ⁺ IIIa	-0.2	-0.2	4.1—8.3 А/мм	16 ЛИНИЙ ($\lambda\lambda$ 3728—4758 А)	[7]

1	2	3	4	5	6	7
S UMa	S 2/6		[Ru/Ti] +1.6	5 A/mm	5814.98. 5919.34 A	[9]
R CMi	SC 4/10		+1.7	6.7 A/mm		"
FU Mon	SC 6.5/7.5		+1.8	"		"
GP Ori	SC 7/8		+2.0	"		"

Приносим благодарность М. Е. Боярчук за предоставление спектрограмм.

Главная астрономическая
обсерватория АН УССР

THE ABUNDANCE OF PALLADIUM GROUP ELEMENTS IN THE ATMOSPHERES OF EVOLVED STARS. II. RUTHENIUM

M. YA. ORLOV, A. V. SHAVRINA

The abundance of ruthenium in the atmospheres of K giants 9 Boo, p Boo, 39 Cyg is determined from 6 A/mm spectrograms using the spectral synthesis technique. Published data on the abundances of ruthenium in the atmospheres of other evolved stars are also presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Foy, *Astron. and Astrophys.*, 85, 287, 1980.
2. R. Foy, *Astron. and Astrophys.*, 93, 315, 1981.
3. Н. С. Кожаров, Т. В. Мишенина, *Астрофизика*, 28, 682, 1988.
4. J. Tomkin, D. L. Lambert, *Astrophys. J.*, 273, 722, 1983.
5. D. L. Lambert, in „Cool stars with excesses of heavy elements. Proc. Strasbourg Observ. Collq., July 3—6, 1984“, eds. M. Jaschek, P. C. Keenan, Dordrecht e. a., 1985, p. 191.
6. K. Krishnaswamy, C. Sneden, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 97, 407, 1985.
7. M. Vetešnik, *Folia p̄irodoved. fak. UJEP Br̄n̄e*, 21, № 3, 5, 1980.
8. М. Я. Орлов, А. В. Шаврина, *Письма в Астрон. ж.*, 10, 135, 1984.
9. V. V. Smith, G. Wallerstein, *Astrophys. J.*, 273, 742, 1983.
10. R. L. Kurucz, E. Peytremann, *SAO Spec. Rep.*, № 362, 1975.
11. Э. А. Гуртовенко, Р. И. Косык, *Фраунгоферов спектр и система солнечных сил осцилляторов*, Наукова думка, Киев, 1989.
12. S. L. Wright, J. D. Argyros, *Comm. Univ. London Observ.*, № 75, 1, 1975.
13. T. Kipper, J. Sitska, in „Atmospheres of late — type stars“, Tallinn, 1981, p. 15.
14. L. Gratton, G. Natali, R. Nesci, *A Spectrophotometric Atlas of three K giants*, Frascati, 1975.
15. М. Я. Орлов, А. В. Шаврина, *Астрофизика*, 28, 595, 1988.
16. М. Е. Боярчук, М. Я. Орлов, А. В. Шаврина, *Астрофизика*, 30, 663, 1989.
17. М. Е. Боярчук, Я. В. Павленко, А. В. Шаврина, *КФНТ*, 5, № 3, 56, 1989.
18. B. Warner, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 129, 263, 1965.
19. I. J. Danziger, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 131, 51, 1965.