

УДК 524.316-852-36

М. Я. Орлов, А. В. Шаврина

О содержании технеция в атмосферах звезд

На основе калибровки шкалы интенсивностей линии Tc I λ 429.706 нм получены эквивалентные ширины этой линии для избранных звезд. Сравнением их с эквивалентными ширинами, рассчитанными по соответствующим моделям атмосферы, определены содержания (или пределы содержания) технеция в атмосферах 64 звезд спектральных классов M, S, C.

ПРО ВМІСТ ТЕХНЕЦІЮ В АТМОСФЕРАХ ЗІР, Орлов М. Я., Шаврина А. В. — На основі калібровки шкали інтенсивностей лінії Tc I λ 429.706 нм одержано еквівалентні ширини цієї лінії для вибраних зір. Шляхом порівняння їх з еквівалентними ширинами, розрахованими за відповідними моделями атмосфери, визначено вміст (або межі вмісту) технецію в атмосферах 64 зір спектральних класів M, S, C.

ON THE ABUNDANCE OF TECHNETIUM IN STELLAR ATMOSPHERES, by Orlov M. Ya., Shavrina A. V. — Using calibration of intensity estimates of the Tc I λ 429.706 nm line, equivalent widths of that line for selected stars have been determined. Comparing them with equivalent widths calculated on the basis of suitable model atmospheres we have obtained the abundances (or abundance limits) of technetium in the atmospheres of 64 stars of types M, S, C.

За четыре десятилетия, прошедшие со времени обнаружения Меррилом [9] линий нестабильного элемента технеция в спектрах звезд, выполнен поиск линий этого элемента у 303 звезд [8, 11]. Количественные оценки содержания технеция сделаны для 23 звезд, а для 19 звезд определены лишь верхние пределы содержания. Литтл и другие [8] привели оценки интенсивности линии Tc I λ 429.706 нм в шкале 1—10 для 84 звезд. Мы предприняли попытку прокалибровать эту шкалу. Эквивалентные ширины линии Tc I λ 426.227 нм для пяти звезд рассматриваемой группы, измеренные по спектрограммам с высокой дисперсией (0.22 нм/мм), приведены в [10]. Если перейти от них к эквивалентным ширинам линии λ 429.706 нм (через отношение сил осцилляторов) и связать с оценками интенсивности I из [8], то получим следующую калибровочную шкалу (W — в пм):

I	1.5	2-	2	2+	2.5	3-	3	3+	3.5	4-	4	4+	4.5
$\lg W$	0.75	0.85	1.0	1.15	1.35	1.50	1.55	1.59	1.62	1.65	1.68	1.71	1.74

Найденные таким образом эквивалентные ширины мы сравнивали с рассчитанными по модели атмосферы. В тех случаях, когда интенсивности [8] выходили за пределы калибровочной шкалы, мы не проводили экстраполяцию, а определяли верхний или нижний предел содержания технеция.

Содержание технеция в атмосферах некоторых звезд

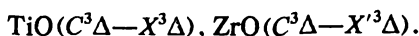
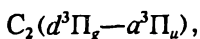
№ п/п	Звезда	Тип	S_p (ОКПЗ-IV)	\bar{S}_p (max)	P_s сут	Int	$T_{эф}$, К	lgg	v_t , км/с	C:O	$lgN(Tc)$
1	RR Aql	M	M6e-M9	M7e:	394.78	1	3200	0.5	2.0		<-2.3
2	V915 Aql	Lb	S5,2-S7,2			>5	3250	-0.5	2.5	1.0	>+1.5
3	R Aqr	M	M5e- M8.5e+pec	M7e+?	386.96	2	3200	0.5	2.0		-1.9
4	W Aqr	M	M6e-M8e		381.10	1.5	3400	0.0	2.0		-2.2
5	X Aqr	M	S6,3e: (M4e-M6.5e)		311.65	2	3200	0.5	2.0	1.0	-1.6
6	V Boo	SRa	M6e			1.5	3400	0.0	2.0		-2.2
7	T Cam	M	S4,7e-S8.5,8e	S5,7.5e	373.20	(1.5)	3250	-0.5	2.5	1.0	(-2.6)
8	AA Cam	Lb	M5(S)			2.5	3400	0.0	2.0		-0.3
9	T Cas	M	M6e-M9.0e	M7.5e	444.83	(2.5)	3200	0.5	2.0		(-0.5)
10	U Cas	M	S3,5e-S8,6e	S4,5,5e	277.19	3	3600	1.0	1.8	1.0	+1.7
11	V Cas	M	M5e-M8.5e	M5.5e	228.83	0.5	3400	0.0	2.0		<-2.2
12	W Cet	M	S6,3e-S9,2e	S6,3e	351.31	4	3200	0.5	2.0	1.0	+1.7
13	S CMi	M	M6e-M8e	M7e	332.94	2.5	3200	0.5	2.0		-0.5
14	V CMi	M	M4e-M10	M6.5e	366.10	3	3400	0.0	2.0		+1.1
15	R Col	M	M3e-M7		327.62	2	3600	0.5	2.0		-1.5
16	S CrB	M	M6e-M8e	M6.5e	360.26	1	3400	0.0	2.0		<-2.2
17	R Crv	M	M4.5e-M9:e	M5e	317.03	1-	3400	0.0	2.0		<-2.2
18	R Cyg	M	S2,5,9e- S6,9e(Tc)	S3,9e	426.45	3	3600	1.0	1.8	1.0	+1.7
19	U Cyg	M	C7,2e- C9,2(Npe)		423.24	4	3000	0.0	2.5	1.02	+1.2
20	RU Cyg	SRa	M6e-M8e			(1)	3400	0.0	2.0		(<-2.2)
21	TW Cyg	M	M6.5-M10ep		340.86	1	3400	0.0	2.0		<-2.2
22	AA Cyg	SRb	S7,5- S7,5,6(MpTc)			4	3400	1.0	1.0	1.0	+2.0
23	T Del	M	M3e-M6e		332.02	1.5	3600	0.5	2.0		-2.0
24	Z Del	M	S5,2.5e-S7,2e:	S5,2.5e	304.48	1	3250	-0.5	2.5	1.0	<-2.6
25	R Gem	M	S2,9e- S8,9e(Tc)	S3,9e	369.91	5	3600	1.0	1.8	1.0	>+2.3
26	T Gem	M	S1,5,5e-S9,5e	S2,5,5e	287.79	4	3700	1.0	2.0	1.0	+2.2
27	V Gem	M	M4(S)e-M8	M4,5,Se:	274.8	3	3400	0.0	2.0		+1.1
28	X Gem	M	M5e- M8e(Tc:)	M6e	264.16	1.5	3400	0.0	2.0		-2.2
29	S Gru	M	M5e-M8IIIe		401.51	4+	3400	0.0	2.0		+1.8
30	π^1 Gru	SRb	S5,7e			7	3250	-0.5	2.5	1.0	>>+1.5
31	S Her	M	M4,Se- M7,5,Se	M5,Se	307.28	2	3400	0.0	2.0		-1.7
32	RU Her	M	M6e-M9	M7e	484.83	1+	3200	0.5	2.0		<-2.3
33	RZ Her	M	M5e-M6e	M5e	329.05	2	3400	0.0	2.0		-1.7
34	ST Her	SRb	M6-7IIIaS			3.5	3400	0.0	2.0		+1.5
35	R Hor	M	M5e- M8eII-III	M6.5e:	407.6	5	3400	0.0	2.0		>+1.9
36	T Hya	M	M3e-M9:e	M4e	298.7	1	3500	0.0	2.0		<-2.2
37	W Hya	SRb	M7.5e-M9ep	M8e		2	3000	0.0	2.0		-1.5
38	RR Hya	M	M3.0e-M8e		343.49	4	3600	0.5	2.0		+1.9
39	RT Hya	SRb	M6e-M8e			(1.5)	3400	0.0	2.0		(-2.2)
40	RU Hya	M	M6e-8.8e	M6.5e	331.5	0.5	3400	0.0	2.0		<-2.2
41	T Ind	SRb	C7,2(Na)			4	3000	0.0	2.5	1.02	+1.2
42	R LMi	M	M6.5e- M9.0e(Tc:)	M7e	372.19	1	3200	0.5	2.0		<-2.3
43	Y Lyn	SRc	M6S Ib-II			3	3400	0.0	2.0		+1.1
44	V Lyr	M	M7e		373.53	1	3200	0.5	2.0		<-2.3
45	V Mon	M	M5e-M8e	M5e	340.5	3.5	3400	0.0	2.0		+1.5
46	X Oph	M	M5e-M9e	M6.5e	328.85	2	3400	0.0	2.0		-1.7
47	U Ori	M	M6e-M9.5e	M6.5e	368.3	1-	3400	0.0	2.0		<-2.2
48	T Peg	M	M6e-M8e		379.4	3	3400	0.0	2.0		+1.1
49	Z Peg	M	M6e- M8.5e(Tc)	M7e	334.8	4+	3200	0.5	2.0		+1.7
50	RV Peg	M	M6e		396.8	3	3400	0.0	2.0		+1.1
51	SW Peg	M	M4e		396.33	3	3500	0.0	2.0		+1.1
52	U Per	M	M5e-M7e	M5.5e	320.26	3-	3400	0.0	2.0		+0.8
53	RR Per	M	M6e-M7e	M6e:	389.62	0.5	3400	0.0	2.0		<-2.2
54	R Psc	M	M3e-M6e	M3e	344.50	1.5	3400	0.0	2.0		-2.2
55	S Scl	M	M3e-M9e(Tc)	M6e	362.57	1.5	3400	0.0	2.0		-2.2

Окончание таблицы

№ п/п	Звезда	Тип	S_p (ОКПЗ-IV)	\bar{S}_p (max)	P , сут	Int	$T_{эф}$, К	$lg g$	v_t , км/с	C:O	$lgN(Tc)$
56	U Ser	M	M3e–M6e	M4e:	237.50	2	3500	0.0	2.0		-1.7
57	T Sgr	M	S4.5,8e– S5.5,8e	S4.5,8e	394.66	3	3250	-0.5	2.5	1.0	+0.7
58	Z Sgr	M	M4e–M9(Se)	M5e:	450.41	1.5	3400	0.0	2.0		-2.2
59	RR Sgr	M	M4e–M9e	M6e:	336.33	2.5	3400	0.0	2.0		-0.3
60	RV Sgr	M	M4e–M9		315.85	2.5	3500	0.0	2.0		-0.3
61	RX Sgr	M	M5e		335.23	2	3400	0.0	2.0		-1.7
62	TY Sgr	M	M3e		325.41	2	3600	0.5	2.0		-1.5
63	R Tau	M	M5e–M9e	M6e:	320.9	2	3400	0.0	2.0		-1.7
64	S Vir	M	M6 IIIe–M9.5e	M6.5e	375.10	1.5	3400	0.0	2.0		-2.2

Для М-звезд мы использовали модели атмосфер Брауна и др. [3], рассчитанные с учетом влияния поглощения в линиях атомов и 13 молекул для эффективных температур $T_{эф}$ от 3000 до 4000 К и $lg g$ в интервале от 0.0 до 2.0. Для С-звезд мы приняли модели Джонсона [5], рассчитанные для атмосфер с повышенным содержанием углерода. Модели атмосфер S-звезд рассчитывались нами по программе SAM1 [14]; дополнительно учитывалась непрозрачность за счет колебательно-вращательных переходов молекул H_2O , H_2 , CO , OH [7] и 40 электронных систем 20 двухатомных молекул по программе модели полос А. А. Яремчука [1]. Влияние атомных линий в случае S-звезд не существенно и нами не учитывалось.

Принятые параметры атмосфер ($T_{эф}$, $lg g$, микротурбулентная скорость v_t) 64 звезд из списка [8], для которых содержание технеция ранее не определялось, приведены в таблице. Для двух звезд не удалось выбрать значения $T_{эф}$ и $lg g$ ввиду неполноты спектральной классификации и отсутствия других наблюдаемых характеристик. В таблице также даны: тип переменности звезды и спектральный класс (по ОКПЗ-IV) [2], средний спектральный класс в максимуме блеска по данным [6] (как отмечается в [8]), спектры переменных звезд наблюдались близ максимума блеска). Принято значение силы осциллятора ($gf = 0.81$) линии $Tc I \lambda 429.706$ нм, определенное Гарстангом [4]. Сверхтонкая структура линии технеция учитывалась с помощью параметра $v_{hfs} = 3.5$ км/с [12, 13]. При расчете эквивалентной ширины линии $\lambda 429.706$ нм, учитывалось влияние всех атомных линий, а также линий следующих систем молекулярных полос:



Найденные содержания технеция $lgN(Tc)$ приведены в шкале $lgN(H) = 12.0$. Значения в скобках относятся к звездам, для которых интенсивности линии технеция в [8] определены по регистрограммам, записанным в плотностях.

1. Нерсисян С. Е., Шаврина А. В., Яремчук А. А. Анализ молекулярного спектра N-звезд на основе моделей атмосфер // *Астрофизика*.—1989.—30, вып. 2.—С. 249—258.
2. *Общий каталог переменных звезд: В 3 т.* / Под ред. П. Н. Холопова. — М.: Наука, 1985—1987.
3. Brown J. A., Johnson H. R., Alexander D. R., et al. Model atmospheres for K and M giants //

- Astrophys. J. Suppl. Ser.—1989.—71, N 3.—P. 623—646.
4. *Garstang R. H.* Oscillator strengths for neutral technetium // *Publs Astron. Soc. Pasif.* —1981.—93, N 555.—P. 641—646.
 5. *Johnson H. R.* Red giant model atmospheres. III. Carbon-enriched models // *Astrophys. J.*—1982.—260, N 1.—P. 254—271.
 6. *Keenan P. C., Garrison R. F., Deutsch A. J.* Revised catalog of spectra of Mira variables of types Me and Se // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1974.—28, N 262—P. 271—308.
 7. *Kipper T., Sitska J.* Rosseland mean opacities for late-type stars // *Tartu Astrof. Observ. Teated.*—1981.—N 64.—P. 15—23.
 8. *Little S. J., Little-Marenin I. R., Bauer W. H.* Additional late-type stars with technetium // *Astron. J.*—1987.—94, N 4.—P. 981—995.
 9. *Merrill P. W.* Spectroscopic observations of stars of class S // *Astrophys. J.*—1952.—116, N 1.—P. 21—26.
 10. *Sanner F.* Observations of technetium stars // *Astrophys. J.*—1978.—219, N 2.—P. 538—542.
 11. *Smith V. V., Lambert D. L.* s-process-enriched cool stars with and without technetium: clues to asymptotic giant branch and binary stars evolution // *Astrophys. J.*—1988.—333, N 1.—P. 219—226.
 12. *Wallerstein G., Dominy J. F.* Technetium and niobium abundances in four stars of types MS and S // *Astrophys. J.*—330, N 2.—P. 937—941.
 13. *Wendlandt D., Bauche J., Luc P.* Hyperfine structure in $Tc\ I$: experiment and theory // *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.*—1977.—10, N 10.—P. 1989—2002.
 14. *Wright S. L., Argyros J. D.* ATLAS5 at the University of London (SAM1). I. Programming and implementation // *Comm. Univ. London Obs.*—1975.—N 75.—P. 1—70.

Главная астрономическая обсерватория
Академии наук Украины, Киев

Поступила в редакцию
04.05.92

РЕФЕРАТЫ ДЕПОНИРОВАННЫХ РУКОПИСЕЙ

УДК 524.31-355.7

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ЗВЕЗД ПО ПРОГРАММЕ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЯРНЫЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ РЯД — NPSS». II. ЗВЕЗДЫ 8^m — 9^m / Терещенко В. М., Глушкова Е. А.

(Рукопись депонирована в ВИНТИ; № 3120-B92)

Получено внеатмосферное распределение энергии $E(\lambda)$ в спектральной области 310—755 нм для семи А-звезд 8^m — 9^m со склонениями $\delta > +85^\circ$. Спектральное разрешение данных — 5 нм, средняя относительная средняя квадратичная ошибка менее 2 %. Энергетическая шкала исследованных звезд основана на компилятивной калибровке α Луг, которую предложил Хейес в 1984 г. Наблюдения выполнены на 1-м телескопе Тянь-Шаньской высокогорной экспедиции ГАИШ ($h = 2750$ м над уровнем моря) с помощью спектрометра Сейя-Намиока. Данная работа является одним из этапов создания околополярных спектрофотометрических стандартов по программе «NPSS».

УДК 524.31-355.7

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ЗВЕЗД ПО ПРОГРАММЕ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЯРНЫЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ РЯД — NPSS». III. ПОВТОРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СЕМИ ЗВЕЗД ПЕРВОГО СПИСКА / Терещенко В. М., Глушкова Е. А.

(Рукопись депонирована в ВИНТИ; № 3121-B92)

Выполнена спектрофотометрия семи околозвездных звезд 4^m — 8^m , входящих в первый список звезд-кандидатов в «Северный Полярный Спектрофотометрический Ряд — NPSS». Для них получено абсолютное распределение энергии в области 310—755 нм. Наблюдения проведены с помощью фотоэлектрического спектрометра Сейя-Намиока, установленного на 1-м телескопе в высокогорных условиях. Спектральное разрешение — 5 нм, относительная средняя квадратичная ошибка результатов — около 2 %. Исследованные звезды предполагается включить в окончательный список членов NPSS.