

УДК 524.31

**О постоянной затухания в атмосферах К-гигантов**

Я. В. Павленко, А. В. Шаврина

Для ряда рассчитанных моделей атмосфер К-гигантов вычислены значения постоянной затухания, определяемой естественным, штарковским и ван-дер-ваальсовым механизмами уширения. Отмечено, что линии умеренной интенсивности обладают различной чувствительностью к изменению постоянной затухания. Показана необходимость учета ван-дер-ваальсового уширения при определении химического состава атмосфер К-гигантов.

*ON A DAMPING CONSTANT IN THE K-GIANT ATMOSPHERES, by Pavlenko Ya. V., Shavrina A. V.*—The values of damping constants are calculated for the grid of K-giant model atmospheres. It is shown that the equivalent widths of moderate intensity lines have different sensitivity to the variation of damping constant. The allowance of the van der Waals damping in determining the chemical composition of the K-giant atmospheres is noted to be important.

Для большинства линий поглощения в спектрах звезд профиль коэффициента поглощения, уширенный тепловыми и турбулентными движениями, принимается гауссовым, а профиль, уширенный столкновениями, считается лоренцовским. В таком случае частотная зависимость коэффициента поглощения описывается функцией Фойгта  $H(a, \nu)$ . Тепловые и турбулентные движения характеризуются доплеровской шириной  $\Delta\nu_D$ , действие других источников уширения спектральной линии представляют в виде суммы постоянных затухания

$$\gamma = \gamma_2 + \gamma_4 + \gamma_6. \quad (1)$$

Здесь  $\gamma_2$ ,  $\gamma_4$ ,  $\gamma_6$  — постоянные естественного затухания, Штарка и Ван-дер-Ваальса соответственно.

В этом случае

$$\alpha = \gamma/4\pi\Delta\nu_D. \quad (2)$$

При анализе химического состава атмосфер звезд-гигантов поздних спектральных классов до недавнего времени часто использовалось предположение о постоянстве  $a$  по глубине атмосферы. Мы исследовали применимость такого приближения при определении химического состава атмосфер К-гигантов методом моделей атмосфер и оценили влияние затухания вследствие эффекта Ван-дер-Ваальса на величину содержания химических элементов.

Нами рассчитан набор моделей атмосфер К-гигантов с  $T=4400$  К,  $\lg g=3.0, 2.5, 2.0$  и  $T_{эф}=4000$  К,  $\lg g=2.5, 2.0, 1.5, 1.0$  с солнечным химическим составом. Расчеты проводились при помощи программы SAM 1С [1]. Анализ содержания химических элементов выполнен при помощи программ Куруца WIDTH-5 и WIDTH-6, основанных на программе ATLAS [2, 3]. При этом использовались эквивалентные ширины линий ряда К-гигантов, измеренные М. Е. Боярчук по спектрограммам с дисперсией 0.4 и 0.6 нм/мм и любезно предоставленные нам. Для естественного уширения спектральной линии мы использовали обычное выражение

$$\gamma_2 = 0.22/\lambda^2, \quad (3)$$

где  $\lambda$  измерено в сантиметрах.

Штарковское уширение учитывалось по формуле

$$\gamma_4 = [13.595 Z_{эф}^2 / (\chi_{ion} - \chi_{up})]^{3/2} \cdot 10^{-8},$$

где  $\chi_{ion}$  и  $\chi_{up}$  — потенциал ионизации элемента и потенциал возбуждения верхнего уровня перехода.

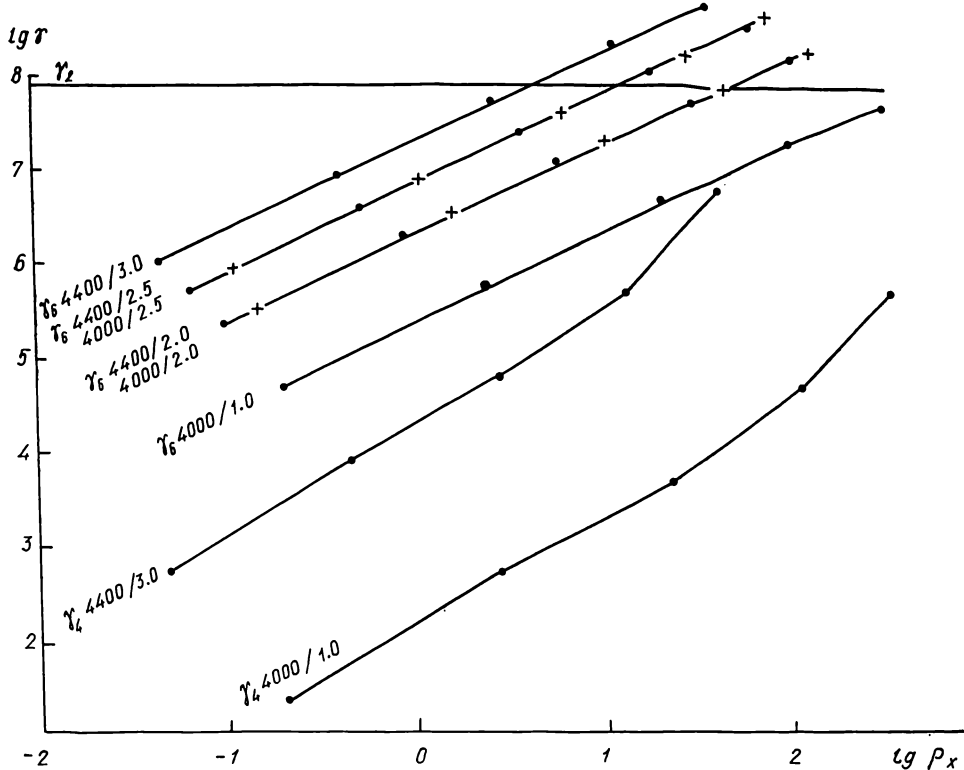
Для эффекта Ван-дер-Ваальса использовалось соотношение

$$\gamma_6 = \gamma_0(H) \left[ n(H) + \frac{\gamma_6(He)}{\gamma_6(H)} n(He) + \frac{\gamma_6(H_2)}{\gamma_6(H)} n(H_2) \right] = \gamma_6(H) [n(H) + 0.42n(He) + 0.85n(H_2)], \quad (4)$$

где

$$\gamma_6(H) = 17.0 [C_6 \sigma_i^{3/5} n_i]. \quad (5)$$

На рисунке представлено изменение с глубиной в атмосфере К-гигантов постоянных затухания  $\gamma_4$  и  $\gamma_6$  для линии Fe II  $\lambda$  492.392 нм.



Ход постоянных затухания  $\gamma_2$ ,  $\gamma_4$  и  $\gamma_6$  с глубиной в атмосфере (в шкале  $\lg \rho_x$ ) для линии Fe II  $\lambda$  492.392 нм модели с  $T_{эф}=4000$  и 4400 К. Для моделей с одинаковыми  $\lg g$  ход  $\gamma_6$  совпадает для обеих температур. Точками обозначены расчеты  $T_{эф}=4400$  К, крестиками —  $T_{эф}=4000$  К. Для  $\gamma_4$  даются только граничные (по  $\rho_x$ ) кривые двух моделей:  $T_{эф}=4400$  К,  $\lg g=3.0$  и  $T_{эф}=4000$  К,  $\lg g=1.0$ . Кривые остальных моделей располагаются между ними

Штарковским уширением для выбранных моделей атмосфер можно пренебречь. В то же время в глубоких слоях атмосфер уширение Ван-дер-Ваальса ( $\gamma_6$ ) преобладает над естественным уширением ( $\gamma_2$ ).

В табл. 1 даны эффективные глубины образования (в шкале  $\rho_x = \int_0^x \rho(x) dx$ ) линии Fe II  $\lambda$  492.392 нм для выбранных моделей атмосфер, соответствующие глубине, на которой  $\tau_\lambda \sim 1$ . Вычисления выполнены для двух скоростей 2 и 3 км/с. Там же даны пределы величины  $a$  в слое образования линии (от центра линии до крыла). Для сравнения в последней графе дана величина постоянной естественного затухания, соответствующая  $\gamma_2$ .

Из рисунка и табл. 1 следует, что при образовании линии Fe II  $\lambda$  492.392 нм в моделях с  $T_{эф}=4400$  К,  $\lg g=3.0$  и  $T_{эф}=4000$  К,  $\lg g=$

$\approx 2.5$  эффект Ван-дер-Ваальса играет заметную роль, в то же время для атмосферы с  $T_{\text{эф}}=4000$  К и  $\lg g=1.0$  его можно не учитывать.

Авторы исследовали влияние задаваемой константы затухания на результат определения химического состава.

Таблица 1. Постоянные затухания для линии Fe II  $\lambda$  492.392 нм

Модель ( $T_{\text{эф}}$ , $\lg g$ )	$\nu_{\text{микр}}$ км/с	$\lg \rho_{\text{х}}^{\text{эф}}$	$a$	$a_{\text{эф}}$	$a_R$
4000, 1.0	2	1.74	0.0017—0.0021	0.0018	0.0016
	3	1.73	0.0012—0.0015	0.00125	0.001
4000, 2.0	2	1.48	0.0020—0.0038	0.0026	0.0016
	3	1.50	0.0015—0.0027	0.0018	0.0012
4000, 2.5	2	1.35	0.0026—0.0058	0.0038	0.0016
	3	1.38	0.0019—0.0042	0.0029	0.0012
4400, 2.0	2	1.20	0.0017—0.0034	0.0021	0.0016
	3	1.19	0.0012—0.0024	0.0015	0.0012
4400, 2.5	2	1.08	0.0019—0.0048	0.0026	0.0016
	3	1.08	0.0014—0.0035	0.0019	0.0012
4400, 3.0	2	0.97	0.0027—0.0082	0.0042	0.0016
	3	0.98	0.0019—0.0059	0.0033	0.0012

Таблица 2. Влияние постоянной затухания на содержания химических элементов для  $\alpha$  Boo (K2 IIIp)

$\lambda$ , нм	Элемент	$\chi$	$W$ , пм	$\lg N$ (в шкале $\lg N_{\text{H}}=12.0$ )		
				$a_{\tau}$	$a=0.001$	$\gamma=10 \gamma_2$
546.050	Ti I	0.05	15.5	4.43	4.45 (0.02)	4.29 (0.14)
625.182	VI	0.29	14.9	3.45	3.45 (0.00)	3.33 (0.12)
533.680	Ti II	1.57	14.5	5.04	5.09 (0.05)	4.84 (0.20)
447.086	Ti II	1.16	14.8	5.25	5.36 (0.11)	4.94 (0.31)
592.211	Ti I	1.05	18.7	5.05	5.05 (0.00)	4.88 (0.17)
492.392	Fe II	2.89	16.2	6.99	7.54 (0.55)	6.58 (0.41)
476.238	Mn I	2.89	16.8	4.82	5.05 (0.23)	4.53 (0.29)
476.643	Mn I	2.92	17.8	5.19	5.52 (0.33)	4.85 (0.34)

В табл. 2 представлено сравнение содержаний нескольких элементов для звезды  $\alpha$  Boo (K2 IIIp), определенных по модели атмосферы с  $T_{\text{эф}}=4250$  К и  $\lg g=1.75$  с тремя вариантами учета затухания. В графиках, соответствующих  $a=0.001$  и  $\gamma=10\gamma_2$ , в скобках приведена ошибка, возникающая вследствие пренебрежения изменением величины затухания с глубиной в атмосфере звезды, в логарифмической шкале.

Таким образом, учет изменения затухания с глубиной по-разному влияет на результирующее содержание для отобранных линий. Последнее обстоятельство обусловлено в основном различной глубиной формирования отдельных линий одинаковой интенсивности.

1. *Kipper T., Sitska J.* Rosseland mean opacities for late-type stars // Atmospheres of late-type stars.— Tallin: Valgus, 1981.— P. 15—23.
2. *Kurucz R. L.* Atlas: a computer program for calculating model atmospheres // SAO Special Report.— 1970.— N 309.— P. 67—71.
3. *Kurucz R. L.* Model atmospheres for G, F, A, B, and O stars // Astrophys. J. Suppl. Ser.— 1979.— 40.— P. 1—340.