# АСТРОФИЗИКА

TOM 22

ФЕВРАЛЬ, 1985

ВЫПУСК 1

УДК: 524.38—355

# МОДЕЛЬ АТМОСФЕРЫ ЯРКОГО КОМПОНЕНТА ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ » Sgr

# В. В. ЛЕУШИН, Г. П. ТОПИЛЬСКАЯ Поступила 10 мая 1984 Принята к печати 3 ноября 1984

Для яркого компонента 0 Sgr посчитана сетка моделей атмосфер в области температур 10 000°  $T_e < 14\,000°$  и для 1.0  $\lg g < 4.0$ . Химический состав для расчета моделей взят из анализа спектров с дисперсней 8 А/мм, полученных на БТА. Содержание гелия бралось равным 0.70  $\div$  0.95, водорода  $-0.01 \div 10^{-6}$ , металлов  $-0.05 \div 0.3$  по числу атомов. Из сравнения теоретического распределения внергии с наблюдаемым и сопоставления линейчатых характеристик спектра звезды с характеристиками моделей атмосфер следует, что атмосфера яркого компонента достаточно хорошо представляется моделями с  $T_e = 13\,500° \pm 200°$ ,  $\lg g = 1.5 \pm 0.25$ ,  $N(H)/\Sigma N = = 10^{-6}$ ,  $N(He)/\Sigma N = 0.95$  и с  $T_e = 14\,000° \pm 200°$ ,  $\lg g = 2.0 \pm 0.25$ ,  $N(H)/\Sigma N = = 10^{-6}$ ,  $N(He)/\Sigma N = 0.70$ .

1. Введение. Двойная звезда <sup>5</sup> Sgr относится к системам, ядерная вволюция которых привела к появлению многочисленных аномалий в химическом составе их атмосфер. Эти аномалии ярко проявляются в линейчатом и непрерывном спектре главного компонента <sup>5</sup> Sgr. Слабые линии водорода и сильные линии гелия указывают, что вещество, наблюдаемое в настоящее время в атмосфере <sup>5</sup> Sgr, было преобразовано ядерными реакциями превращения водорода в гелий, причем наблюдаемое соотношение между содержаниями углерода, азота и кислорода свидетельствует о том, что выгорание водорода шло через СNO-цикл.

Однако в атмосфере  $\upsilon$  Sgr кроме аномалий H, He. C, N и O, которые естественно объясняются упомянутыми причинами, наблюдаются и другие типы аномалий, в частности, интенсивные линии серы, свидетельствующие о ее большом содержании в атмосфере. Сера не участвует в реакциях CNO-цикла, и ее аномалии должны иметь другую причину. Необходимо отметить, что подобные факты отмечаются и для других двойных звезд, например, в атмосфере  $\beta$  Lyr наблюдается аномалия содержания кремния, не укладывающаяся в рамки обычного объяснения аномалий химсостава результатом воздействия реакций выгорания водорода [1]. Исследование химического состава атмосфер двойных звезд позволяет делать заключение не только о эволюционном статусе звезды, но и о химической эволюции вещества в недрах звезды, при этом необходимо иметь в виду, что действительно верные заключения об эволюции и характере ядерных реакций можно делать только на основе точных данных по химическому составу, которые можно получить лишь с помощью моделей атмосфер.

Построение же модели для атмосферы "Sgr связано со значительными трудностями, обусловленными пекулярностью самой звезды и, прежде всего, существенными отличиями ее химического состава от нормального, что исключает использование для анализа ее атмосферы зависимостей, полученных для нормальных звезд. Поэтому здесь полностью неприменим мощный метод определения эффективной температуры звезды по ее спектральному классу, да и само понятие спектрального класса для "Sgr теряет смысл, так как в линейчатом спектре наблюдаются характеристики звезд со спектральными классами от O до F, причем все они возникают в одном и том же объекте втой довольно сложной системы.

Непригоден здесь для определения T. и метод, основанный на использовании зависимости температуры возбуждения, получаемой с помощью кривой роста, от эффективной температуры, который успешно работает при анализе нормальных звезд. Связано это с тем, что водородная атмосфера нормальной звезды из-за большой непрозрачности в первом приближении может считаться изотермичной, и весь линейчатый спектр образуется примерно на одной высоте, в то время как этмосфера "Sgr из-за очень малого содержания водорода является прозрачной, и мы наблюдаем особенности, образующиеся в слоях, далеко отстоящих друг от друга.

Прямая оценка  $T_e$  для v Sgr по болометрическому потоку затруднена неспределенностью в модуле расстояния, в величине межзвездного поглощения. ( $M_v = -4^m 5 \div -8^r$ ,  $A_v = 0^m 75 \div 1^m 2$ , [2]) и в величине радиуса яркого компонента.

Таким образом, построение модели атмосферы <sup>0</sup> Sgr и сравнение теоретических характеристик с наблюдаемыми совершенно необходимо как для определения *T*., так и для анализа химического состава атмосферы звезды. Ниже мы приводим результаты, полученные из анализа сетки моделей, посчитанной с характеристиками в пределах значений, найденных по наблюдениям, и из сравнения теоретических расчетов с наблюдениями.

2. Грубый анализ линейчатого спектра звезды. Для исследования атмосферы главного компонента системы были использованы спектрограммы, полученные на ОЗСП шестиметрового телескопа САО АН СССР. Сведения о спектрограммах приведены в табл. 1.

Спектрограммы с дисперсией 8 А/мм были измерены на микрофотометре ИФО-451 и микрофотометре прямых интенсивностей САО АН СССР. Увеличение составляло 20 раз. Результаты обработки усреднялись, и для каждой спектральной линии находились средние значения эквивалентных ширин (W.).

> Спектральная Фаза No Врежя Дата область, А  $2^{h}46^{m}$ 3900-5000 0.197 1 17.05.78 2 17.05.78 3 03 0.197 3900-5000 3900-5000 33 14.06.78 23 27 0.406 14.06.78 0.406 3900-5000 34 23 47 35 14.06.78 23 56 0.406 3900 - 5000

СПИСОК СПЕКТРОГРАММ

Разброс значений от спектрограммы к спектрограмме, обусловленный как переменностью, так и ошибками, редко превышает 20%, поэтому мы в дальнейшем считаем эквивалентные ширины линий постоянными в пределах фотографической точности. Значения W, для всех отождествленных линий со значениями сил осцилляторов и потенциалов возбуждения нижних уровней приведены в работе [3].

По спектральным линиям были построены экспериментальные кривые роста для семи ионов: Fe II, Ti II, Cr II, V II, N II, O II, S II, по которым определялись турбулентные скорости, относительные значения содержаний элементов и температуры возбуждения в атмосфере. По значениям эквивалентных ширин других ионов находились относительные содержания соответствующих элементов. Экспериментальные кривые роста сравнивались с теоретическими по расчетам Врубеля [4]. Кривые роста для Fe II, Ti II, Cr II дали  $T_{\rm exc} = 8400$  K ( $\theta_{\rm exc} = 0.60$ ). Значения температур для N II, O II и S II получились равными следующим величинам: N II —  $- T_{\rm exc} = 12\,000$  K ( $\theta_{\rm exc} = 0.45$ ), O II —  $T_{\rm exc} = 12\,600$  K ( $\theta_{\rm exc} = 0.40$ ) и S II —  $T_{\rm exc} = 10\,000$  K ( $\theta_{\rm exc} = 0.50$ ). Разная величина полученных значений температуры объясняется разной глубиной образования линий соответствующих ионов.

В табл. 2 даны значения полных скоростей хаотического движения частиц и микротурбулентных скоростей, полученных по кривым роста различных ионов. Среднее значение v, равно 7.1 км/с. Калибровка относительного содержания влементов проводилась по результатам анализа содержаний влементов в звезде TX Leo [5]. В табл. 3 приведены значения содержаний Fe II, Ti II, Cr II, V II в v Sgr по сравнению с содержанием в TX Leo с учетом различий в скоростях хаотического движения частиц, но без учета различий в коэффициентах непрерывного поглощения, с точно-

Таблица 1

стью до которого определяется содержание элемента по кривой роста Врубеля.

Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ ПОЛНОЙ ХАОТИЧЕСКОЙ (v) И ТУРБУЛЕНТНОЙ (v,) СКОРОСТЕЙ В АТМОСФЕРЕ v Sgr

Ион	v	vi	Ион	U	T'l	Ион	U	v <sub>i</sub>	Ион	U	v
Fe II	7.8	7.6	Ti II	9.6	9.5	Cr II	6.6	6.4	νц	5.4	5.1
N II	7.5	6.5	OII	7.6	6.6	SII	8.4	8.1	Среднее	7.6	7.1

В силу специфики химического содержания о Sgr проявляющейся, в частности, в аномально низком содержании водорода по сравнению с нормальными звездами, значение коэффициента непрерывного поглощения для атмосферы о Sgr существенно отличается от его значения для нормальных звезд. Для оценки  $k_{\lambda}$  можно сделать предположение о том, что количество атомов железа (то же и для ионов железа), в единице массы вещества о Sgr и TX Leo примерно одинаково. И поскольку lg  $\frac{N_{rosgr}}{N_{rTX Leo}} + lg \frac{k_{\lambda} TX I eo}{k_{\lambda o Sgr}} = 0.73$ , то, полагая lg  $\frac{N_r (Fe II)_o Sgr}{N_r (Fe II)_{TX Leo}} = 0$ , получим, что lg  $\frac{k_{\lambda} TX Leo}{k_{\lambda o Sgr}} = 0.73$ .

> Таблица 3 ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗНОГО ПИКА

	$\lg(N_r U_T$	) + const	NruSgr kATX Leo
Ион	Sgr ن	TX Leo	Ig N, TX Leo + Ig ky Sgr
Fe II	2.74	2.67	0.73
Ti II	-0.84	-0.21	- 10.0L ·
Cr II	1.64	1.77	0.39
VII	-1.24	-0.74	0.08

Методом дифференциального анализа атмосферы 5 Sgr по отношению. к TX Leo, беря найденное значение  $k_{\lambda}$ , мы получили содержания элементов, приведенные в табл. 4, которые и были использованы при расчетах моделей атмосфер. Здесь же для сравнения приведен химический состав. Проциона [6].

3. Расчет моделей. Модели атмосфер с дефицитом водсрода, посчитанные ранее [7, 8] дали неудовлетворительное согласие со спектром <sup>U</sup> Sgr, что связано с неподным учетом источников непрозрачности в этих моделях. Мы рассчитали ряд гелиевых моделей по программе SAM1 [9, 10], в интервале эффективных температур от 10 000° до 14 000° и с lg g от 1.0 до 4.0. Выбор интервала  $T_{\bullet}$  основан на многочисленных наблюдениях, показывающих, что спектр "Sgr имеет характеристики нормальных звезд спектральных классов от O до F [11]. Относительные содержатия водорода и гелия определялись тем, что линии водорода в спектре "Sgr очень слабые, а линии гелия — сильные. Это свидетельствует о том, что водорода в атмосфере "Sgr мало. Кроме того, относительно иевысокое содержание углерода и кислорода при явном преобладании азога говорит о том, что горение водорода шло через CNO-цикл, а продукты стадия выгорания гелия через тройной "-процесс не сильно изменили химический состав вещества атмосферы. Исходя из этого в моделях относительное содержание водорода бралось равным  $0.01 \div 10^{-6}$  и гелия —  $0.70 \div 0.95$  по числу атомов. Для всех остальных элементов использовались содержания, определенные в работе [3].

	1	lg N			lg N		
ACMONT	o Sgr	TX Leo	a CMi	SACMERT	o Sgr	TX Leo	a CMi
ç	8.5		8.7	Ti	4.3	4.9	4.5
N	10.0		8.8	v	3.6	4.9	3.7
0	8.9	2.4	9.6	Cr	5.7	6.0	5.5
Mg	8.0	8.8	7.4	Fe	7.6	7.6	7.3
Si	9.1	8.8	7.7	Ni	6.0	5.1	5.4
S	8.8		7.3	Sr	2.2	3.6	2.8
Ca	5.7	5.1	6.1	Y	2.2	2.4	2.8
Sc	3.0	3.1	3.4	Ba	0.5	1.3	2.6

При построении моделей особое внимание обращалось на возможно более полный учет источников непрозрачности. Учитывались следующие источники поглощения в непрерывном спектре: H<sup>-</sup>, HI, HII, H<sub>2</sub><sup>-</sup>, He<sup>-</sup>, He I, He II, Mg I, II, Si I, II, C I—IV, Al I, Ca II, N I—V, O I—VI, Ne I— VI, а также рассеяние на свободных электронах и атомах H и He. Включалось также и поглощение в линиях H I для всех уровней с  $n \leq 5$ . Поглощение в линиях других элементов во внимание не принималось. Все модели вычислялись с конвекцией, при втом длина пути перемешивания равнялась высоте атмосферы. Большинство моделей получено с учетом отклонений от ЛТР при расчете поглощения в линиях водорода (NLTR). Сведения о моделях приведены в табл. 5.

Таблица 4

T.	lg g	<i>N</i> (H)/Σ <i>N</i>	N(He)/ΣN	$N(Me)/\Sigma N$	Чнсло итераций	Δ <i>F</i> , º/ <sub>0</sub>
10000	4.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	LTE 5	5.0
11000	4.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	NLTE 5	- 8.0
11000	3.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	LTE 5	-14.1
12000	4.0 .	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	NLTE 5	-11.0
12060	2.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	NLTE 6	0.9
13000	3.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	NLTE 6	0.8
13000	2.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	NLTE 7	- 3.0
13000	1.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	NLTE 1	-12.1
13500	1.5	0.01	0.94	0.05	NLTE 5	- 1.2
13500	1.5	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	NLTE 5	- 0.2
14000	4.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	LTE 4	0.4
14000	2.0	10 <sup>-6</sup>	0.70	0.30	NLTE 5	5.2
14000	2.0	10 <sup>-6</sup>	0.95	0.05	NLTE 6	0.5

СПИСОК РАССЧИТАННЫХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ

Таблица 5

В 7-ом столбце табл. 5 указано количество итераций, в 8-ом ошибка потока на глубине т<sub>Вов</sub> = 1.0 на последней итерации. В SAM1 для получения стартовой, «серой», модели используется таблица росселандова коэффициента поглощения,  $k_{R_{0}} = f(T, P_{\bullet})$ , вычисленная для стандартного химсостава и встроенная в программу. Поэтому для моделей с большим дефицитом водорода стартовое распределение температуры очень сильно отличается от распределения температуры, вычисляемого для заданного химического состава, и ошибки потока после первой итерации составляют 1500% на всех глубинах. Как правило, на второй итерации такие модели расходятся и работа программы прекращается. Поэтому для расчета гелиевых моделей предварительно была посчитана таблица кр., для химического состава из работы [3] с относительным содержанием водорода — 0.004 и гелия — 0.95 по протрамме ОРТАВ [10]. Затем в процессе вычисления моделей при каждом обращении к программе SAM1 использовались полученные ковффициенты кол. Это позволило получить модели с хорошей сходимостью, в которых ошибки потока составляли 20% на первой итерации и около 3% на пятой итерации.

4. Сравнение с наблюдаемым непрерывным спектром. Распределение внергии в непрерывном спектре <sup>10</sup> Sgr изучено достаточно подробно. Наиболее полный обзор результатов абсолютной фотометрии дан в работе [2], в которой приведены результаты измерений в спектральной области от 3200 А до 7350 А. Эти данные дополнены спутниковыми измерениями в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра.

Основные особенности наблюдаемого распределения энергии заключаются в следующем:

1. В оптической области спектра самой заметной деталью является падение интенсивности, которое составляет 17%, на длине волны 3500 А, вызванное непрерывным поглощением нейтрального гелия.

2. Избыточное по сравнению с нормальными звездами излучение в ультрафиолете, которое превышает излучение в оптике и остается примерно постоянным до  $\lambda = 1000$  А.

3. Значительный избыток в инфракрасной области спектра.

4. Непрерывной спектр в ультрафиолете в значительной степени изрезан. В работах [12—14] это объясняется присутствием мощных линий поглощения C IV, O IV, Si IV, N V.



Рис. 1. Распределение энергии с длиной волны для моделей:  $1 - T_e = 14\,000^\circ$ ,  $\lg g = 2.0; 2 - T_e = 13\,000^\circ$ ,  $\lg g = 2.0; 3 - T_e = 12\,000^\circ$ ,  $\lg g = 2.0; 4 - T_e = 11\,000^\circ$ ,  $\lg g = 3.0; 5 - T_e = 10\,000^\circ$ ,  $\lg g = 4.0$ . Химический состав моделей:  $N(H) \Sigma N = 10^{-6}$ ,  $N(He)/\Sigma N = 0.95$ 

Теоретические распределения энергии для моделей с различными *T*. и lgg приведены на рис. 1. Главной особенностью всех теоретических моделей является крайне малое содержание водорода, в результате чего основными поглотителями являются He<sup>-</sup>, He I и более тяжелые элементы, особенно Si I, Si II и C I. Существенный вклад в полную непрозрачность дает также рассеяние на свободных электронах. Во всех моделях горячее 11000° K в оптической области спектра присутствуют два скачка интенсивности, вызванные непрерывным поглощением нейтрального гелия. Скачок при  $\lambda = 3416$  A обусловлен поглощением с триплетного уровня $1s2p {}^{3}S$ , а при  $\lambda = 3680$  А — поглощением с синглетного уровня  $1s2p {}^{1}S$ . В табл. 6 приведены величины скачков Не I для полученных моделей и наблюдаемые в спектре  $\cup$  Sgr [2]. Видно, что оба скачка увеличиваются с ростом  $T_{\bullet}$  и с уменьшением lgg. По величине этих скачкоз гелия с наблюдаемым распределением энергии лучше всего согласуются модели с  $T_{\bullet}$  от 13 000 K до 14 000 K.

Таблица б

TV	1	ATTLE VE AT	D		
1 e, K	Ig g		$\lambda = 3680$	λ== 3416	
12000	4.0	0.95	0.0	0.0	
12000	2.0	0.95	0.02	0.08	
13000	3.0	0.95	0.02	0.10	
13000	2.0	0.95	0.04	0.12	
13000	1.0	0.95	0.04	0.13	
13500	1.5	0.95	0.04	0.13	
13500	1.5	0.94	0.07	0.12	
14000	4.0	0.95	0.03	0.16	
14000	2.0	0.95	0.04	0.14	
14000	2.0	0.70	0.02	0.09	
v Sgr		-	0.05	0.17	

#### ВЕЛИЧИНЫ СКАЧКОВ ИНТЕНСИВНОСТИ У ПРЕДЕЛОВ СЕРИЙ ГЕЛИЯ

Для анализа соотношения водорода и гелия была просчитана модель -с  $T_e = 13500^\circ$ ,  $\lg g = 1.5$ , в которой при неизменном содержании тяжелых элементов, в сумме составляющих 0.05 от общего количества атомов. содержание водорода было увеличено до 0.01, а относительное содержание гелия уменьшено до 0.94. Бальмеровский скачок водорода при  $\lambda = 3646$  А из-за его размытости блендирующимися линиями поглощения HI перекрывается со скачком гелия при  $\lambda = 3680$  А, повтому при переходе от меньших к большим содержаниям водорода падение интенсивности в области ЛЛ 3646 — 3680 А увеличивается. В наблюдаемом распределении энергии скачок в области  $\lambda\lambda$  3646 — 3680 А составляет 0.05, а при λ 3416 A - 0.17. Сравнение соотношения скачков в теоретических моделях с наблюдениями (см. табл. 6) говорит в пользу модели с меньшим содержанием водорода и, таким образом, кажется, что содержание водорода 10<sup>-6</sup> ближе к истине, чем 0.01. Однако для более точного определения содержания водорода в спектре "Sgr необходимы расчеты контуров бальмеровских линий поглощения и сравнение их с наблюдениями. Но возможное уточнение содержания водорода не должно существенно изменить мо-

#### модель атмосферы

дель атмосферы, так как сделанное здесь изменение на четыре порядка относительного содержания водорода незначительно изменило модель.

Для изучения соотношения гелия и тяжелых элементов была посчитана модель с  $T_{\bullet} = 14\,000$  К и  $\lg g = 2.0$ , в которой наряду с малым содержанием водорода  $(N(H)/\Sigma N = 10^{-6})$ , содержание гелия было уменьшено до 0.70, а содержание металлов увеличено до 0.30. Это привело к усилению поглощения металлами в ультрафиолетовой части спектра, в результате чего поток в области  $\lambda < 2000$  А резко уменьшился, а поток в области  $\lambda > 2000$  А — увеличился. На рис. 2 и 3 приведено сравнение



Рис. 2. Сравнение распределения энергин, наблюдаемого в спектре  $\circ$  Sgr (-o-), [2] с непрерывным спектром, рассчитанным для моделей с  $T_e = 13500^\circ$ , lg g = 1.5(сплошная линия) и с  $T_e = 13000^\circ$ , lg g = 1.0 (штриховая линия).

распределения внергии в спектре <sup>10</sup> Sgr и моделей с *T*. от 13 000° до 14 000°. Анализируя эти распределения внертии можно сказать следующее:

1. Модели с  $T_{\bullet} = 13500^{\circ}$  и 14000° хорошо описывают наблюдения в оптической области спектра. Наклон континуума в модели с  $T_{\bullet} = 13000^{\circ}$ , lg g = 1.0 хуже согласуется с наблюдениями, что свидетельствует о том, что вта температура является заниженной.

2. Соотношение скачков гелия во всех моделях примерно согласуется с наблюдениями.

3. Характер непрерывного спектра в области 1000 <  $\lambda$  < 2000 А для всех моделей хорошо совпадает с наблюдениями. Депрессия в области 2000 А < $\lambda$ < 2100 А может быть объяснена, с одной стороны, в соотвегствии с работой [2], межзвездным поглощением, с другой стороны, неучтенным в моделях влиянием линий потлощения металлов. Одновременно можно предположить, что часть изрезанности спектра объясняется не только линиями поглощения, но и скачками у пределов серий Si I, Si II и C I. Скачки C I— $\lambda$  1440 A, Si I— $\lambda$ 1520 A, Si I— $\lambda$  1680 A, и Si II— $\lambda$  1980 A хорошо совпадают с наблюдаемыми депрессиями в спектре Sgr. В моделях с  $T_e = 13500^\circ$ , lg g = 1.5 и  $T_e = 14000^\circ$ , lg g = 2.0. N (He)/ $\Sigma N = 0.95$  уровень континуума в этой области выше, чем наблюдается, что может быть связано с неучтенным поглощением в линиях, которос приводит к перераспределению энергии из ультрафиолетовой в инфрекрасную область спектра.



Рис. 3. Сравнение распределения энергии, наблюдаемого в спектре 5 Sgr (-o-) и рассчитанного для моделей с  $T_e = 14\,000^\circ$ , lg g = 2.0 и с разным содержанием гелия и тяжелых элементов:  $N(\text{He})/\Sigma N = 0.95$ ,  $N(\text{Me})/\Sigma N = 0.05$  (штриховая линия),  $N(\text{He}), \Sigma N = 0.70$ ,  $N(\text{Me})/\Sigma N = 0.30$  (сплошвая линия).

4. В модели с  $T_{\bullet} = 14\,000^{\circ}$ , lg g = 2.0 и увеличенным содержанием металлов поток энергии в области 2000 А  $<\lambda < 3000$  А значительно превышает наблюдаемый. Но по результатам работ [12, 14] в этой области спектра присутствует большое количество линий металлов (особенно Fe II, Fe III, Cr III, Cr III), поглощение в которых должно понижать здесь континуум и приводить к перераспределению энергии в инфракрасную область спектра.

Таким образом, по результатам анализа непрерывного слектра можно сделать вывод, что с наблюдениями одинаково хорошо можно согласовать три модели:  $T_e = 14\,000^\circ$ ,  $\lg g = 2.0$ ,  $T_e = 13\,500^\circ$ ,  $\lg g = 1.5$  и  $T_e = 14\,000^\circ$ ,  $\lg g = 2.0$  с увеличенным содержанием металлов. Для дальнейшего уточнения параметров модели необходимо использовать характеристики линейчатого спектра.

5. Выбор моделей по характеристикам линейчатого спсктра. В спектрпоглощения 0 Sgr наряду с большим количеством линий металлов, характерных для эвезд поздних спектральных классов, присутствуют сильные линии He I, N II, O II, имеющие примерно ту же интенсивность, что и в нормальных звездах класса В. Лучевые скорости, определенные по линиям с высокими и низкими потенциалами возбуждения, близки, что говорит о том, что все наблюдаемые линии образуются в атмосфере одной звезды.

Линии водорода аномально слабы, и именно вытекающее из этого факта крайне низкое содержание водорода является основной причиной других наблюдаемых спектральных аномалий. Из-за отсутствия водорода, который является основным источником непрозрачности в нормальных звездах, поглощение в непрерывном спектре <sup>9</sup> Sgr оказысается очень малым, что коренным образом отражается на структуре атмосферы звезды.

В табл. 7 приведены данные для четырех моделей: две модели с  $T_e = 13500$  K,  $\lg g = 1.5$  и  $T_e = 14000$  K,  $\lg g = 4.0$  посчитаны с хими-

> Таблица 7 МОДЕЛИ АТМОСФЕР С РАЗЛИЧНЫМ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

$\tau_{\rm Ros}$ T, °K ig P. N <sub>ar</sub> , cm <sup>-3</sup> $z_{\rm Ros}$ , cm <sup>2</sup> /r		Supplier States of the local division of	The Real Property lies and the Party lies of the	And in case of the local division of the loc	
	Ros	<i>T</i> , °K	ig Pe	$N_{\rm mu}$ , cm-3	ZRos, CM2/r

MOGENE:  $T_e = 13500^\circ$ ,  $\lg g = 1.5$ ,  $N(H)/\Sigma N = 10^{-6}$ ,  $N(He)/\Sigma N = 0.95$ ,  $N(Me)/\Sigma N = 0.05$ 

			1	
3.4.10-5	10500	-2.32	5.4·10°	6.6.10-2
$1.1 \cdot 10^{-3}$	10400	-0.72	1.5.1013	8.7.10
$1.5 \cdot 10^{-2}$	11000	0.44	4.5.1013	7.8.10
0.1	11900	1.20	1.8.1014	2.1.10
0.3	12600	1.59	2.6.1014	4.7.10-2
0.7	13500	1.96	2.8.1014	0.12
1.3	14900	2.31	2.2.1014	0.33
3.2	17800	2.51	1.5.1014	0.41
12.2	24000	2.79	1.9.1014	0.24
50	48500	3.80	5.0.1014	1.77
· · ·				

### MOARNE: $T_e = 14\,000^\circ$ , $\lg g = 4.0$ , $N(H)/\Sigma N = 10^{-6}$ , N(He)/ $\Sigma N$ =0.95, $N(Me)/\Sigma N$ =0.05

3.6.10-5	11000	0.14	1.6.1013	7.8.10-3
$1.1 \cdot 10^{-3}$	11000	1.29	2.2.1015	3.5.10-3
$1.2 \cdot 10^{-2}$	11400	1.97	1.2.1016	9.9.10-3
0.1	12400	2.63	3.3.1016	$4.4.10^{-2}$
0.3	13400	3.07	4.3.1018	0.16
0.9	15000	3.63	4.5.1018	0.77
1.4	16200	3.95	4.1.1016	1.81
3.2	18500	4.40	3.2.1016	5.98
7.5	20300	4.61	2.6.1016	9.94

Таблица 7 (окончание)

Модель: Т.	= 14 000°,	$\lg g = 4.0,$	етандартный	химсостав
3.2 10 <sup>-5</sup>	10300		3.8.1011	0.32
$1.2 \cdot 10^{-3}$	10350	0.99	7.7.1012	0.88
$1.3 \cdot 10^{-2}$	10600	1.64	3.5.1013	2.40
0.1	11500	2.24	1.2.1014	5.15
0.4	12800	2.57	2.4.1014	5.82
0.8	14200	2.84	3.9.1014	5.72
1.1	15100	3.00	5.1.1014	5.54
2.4	17400	3.32	9.1.1014	5.22
10.6	24100	4.00	3.0.1015	5.10
170	47000	5.00	1.4.1016	15.04

Moderb:  $T_s = 14\,000^\circ$ ,  $\lg g = 2.0$ ,  $N(H)/\Sigma N = 10^{-6}$ ,  $N(He)/\Sigma N = 0.70$ ,  $N(Me)/\Sigma N = 0.30$ 

		1	1	
8.4-10-5	10300	-1.08	3.9.1011	8.4.10 <sup>-3</sup>
1.3.10-3	10800	0.17	1.0-1013	9.0.10-3
$1.2 \cdot 10^{-2}$	11400	0.90	5.3.1013	1.8.10-2
0.1	12700	1.72	2.3.1014	6.5.10-2
0.4	13600	2.04	3.2.1014	0.13
0.8	14500	2.29	3.5.1014	0.22
1.0	15100	2.43	3.4.1014	0.30
3.0	18600	2.76	3.0.1014	0.32
11.4	24600	3.26	6.7.1014 .	0.22
42.2	33300	3.82	1.6.1015	0.56
			1	1

ческим составом, полученным для атмосферы  $\circ$  Sgr, модель с  $T_e = 14\,000$  K, lg g = 4.0, имеет нормальный химический состав, модель с  $T_e = 14\,000$  K, lg g = 2.0. посчитана с увеличенным содержанием металлов до 0.30 по числу атомов. Из таблицы видно, что отсутствие водорода привело к тому, что в гелиевых моделях коэффициент поглощения в непрерывном спектре существенно меньше, чем в нормальных. Причем, это уменьшение меняется от одного порядка для  $\tau_{Ros} \sim 1$ , что подтверждает наши наблюдения по линейчатому спектру, до двух порядков в верхних слоях.

С другой стороны, из-за увеличенного содержания тяжелых элементов гелиевые модели эначительно плотнее нормальных, что приводит к увеличению концентрации атомов на два порядка. Эти две особенности могут приводить к следующим результатам:

1. Малым оптическим глубинам соответствуют большие геометрические расстояния, на которых набирается большое количество атомов и нонов тяжелых элементов. Поэтому линии поглощения металлов в гелиевых атмосферах могут формироваться на оптических глубинах в непрерывном спектре значительно меньших, чем в нормальных, начиная с  $\sim 10^{-5}$ . поскольку, из-за большой концентрации атомов и из-за повышенного солеожания тяжелых элементов, малое относительное количество нона в рассматриваемой стадии ионизации может дать сильное поглощение в линии. Таким образом, в самых верхних, сравнительно холодных слоях атмосферы может формироваться линейчатый спектр, характерный для нормальных звезд спектральных классов А-F. Чтобы выбрать модель, которая найлучшим образом соответствует наблюдаемому линейчатому спектру, мы посчитали кожффициенты поглощения в центрах линий Fe II 4583 A. Si II 4130 A. Si III 4552 А для гелиевой и нормальной модели с  $T_e = 14\,000$  K,  $\lg g = 4.0$ . Эти три линии достаточно сильны в

спектре  $\upsilon$  Sgr. Вычисления проводились по формуле  $k_{\lambda} = \frac{\sqrt{\pi \lambda^2 e^2 f}}{m_e c^2 \Delta \lambda_0} N_{r, l}$ . Результаты приведены в табл. 8. Видно, что коэффициент поглощения в линиях в гелисвой модели примерно на два порядка больше, чем в нор-

Таблица 8

Модель	Ros	k4583 cm-1	k4130 cm <sup>-1</sup>	k4552 cm <sup>-1</sup>
$T_{e} = 14000^{\circ}$	3.2-10 <sup>-5</sup>	$2.5 \cdot 10^{-7}$	1.5.10 <sup>-6</sup>	3.2·10 <sup>-5</sup>
$\lg g = 4.0$	0.1	3.8.10-2	0.15	0.31
Стандартный хим- состав	0.8	$2.5 \cdot 10^{-2}$	0.55	0.74
$T_{e} = 14000^{\circ}$	3.6.10-5	$1.4 \cdot 10^{-8}$	$2.2 \cdot 10^{-8}$	$4.0.10^{-7}$
$\lg g = 4.0$	0.1	1.6.10-4	3.4.10	1.5.10-4
$N$ (He), $\Sigma N = 0.95$	0.9	1.5.10-4	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$5.8 \cdot 10^{-3}$

## ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОГЛОЩЕНИЯ В ЛИНИЯХ НА РАЗНЬ Х ГЛУБИНАХ

мальной, для тех же оптических тлубин в непрерывном спектре, и оптическая глубина в линии, достаточная для создания наблюдаемой интенсивности поглощения, в гелиевой модели с  $T_{\bullet} = 14\,000$  К набирается в слоях с  $T \sim 11\,000$  К. В то же время для модели с  $T_{\bullet} = 13\,500$  К температура соответствующих слоев, равная 10 500 К, существенно ближе к определенной ранее из наблюдений ( $T \sim 9000$  К). Увеличение содержания металлов в модели с  $T_{\bullet} = 14\,000$  К привело к изменению распределения параметров модели, а именно, к охлаждению верхних слоев атмосферы и к перегреву нижних слоев. В результате на глубине формирования линейчатого спектра типа А—F температура в этой модели составляет 10 300 К, что еще лучше совпадает с результатами, полученными из кривой роста.

2. Вследствие большой прозрачности гелиевой модели линии поглощения, характерные для звезд класса В, образуются на больших оптических глубинах, в слоях атмосферы со сравнительно высокой температурой ( $T \sim 12\,000$  K).

Следовательно, по характеристикам непрерывного и линейчатого спектров о Sgr хорошо согласуется с двумя моделями:  $T_e = 13500^\circ$ . lg g = 1.5,  $N(\text{He})/\Sigma N = 0.95$ ,  $N(\text{H})/\Sigma N = 10^{-6}$ ,  $N(\text{Me})/\Sigma N = 0.05$  и  $T_e = 14000^\circ$ , lg g=2.0,  $N(\text{He})/\Sigma N = 0.70$ ,  $N(\text{H})/\Sigma N = 10^{-6}$ ,  $N(\text{Me})/\Sigma N = 0.30$ .

6. Заключение. 1. Наблюдаемое распределение энергии в спектре о Sgr хорошо описывается одной моделью, следовательно, энергия, образующая в тазовой оболочке, газовых потоках и в атмосфере слабого спутника двойной системы о Sgr сравнительно мала и не дает существенного вклада в непрерывное излучение. Выводы, сделанные в работах [12—14] о том, что мы наблюдаем комбинацию излучения от главного компонента, спутника и газовой оболочки, основаны на сравнении с некорректными моделями, в которых не были учтены важнейшие источники непрозрачности.

2. Аномалии линейчатого спектра U Sgr просто объясняются с помощью одной модели с малым содержанием водорода.

3. Характер наблюдаемого спектра в ультрафиолетовой области обусловлен непрерывным поглощением тяжелыми влементами, сильная изрезанность спектра в области 1000 А  $<\lambda<2000$  А вызвана, с одной стороны, скачками козффициентов поглощения Si I, Si II и C I, а с другой резонансными линиями поглощения металлов. Поэтому нет необходимости для объяснения ультрафиолетового спектра привлекать линии поглощения Si IV, C IV, N V, образующиеся во вторичном компоненте или в газовой оболочке, как это было сделано в работах [13, 14].

4. Полученное соотношение водорода и гелия свидетельствует о том, что в ядре главного компонента о Sgr прошел процесс выгорания водорода, который, вследствие перетекания вещества на спутник, изменил и химический состав наблюдаемых верхних слоев атмосферы.

5. Остается неопределенным соотношение между гелием и металлами. Если реально соотношение  $N(\text{He})/\Sigma N = 0.70$ ,  $N(\text{Me})/\Sigma N = 0.30$ , то это означает, что в звезде прошли процессы горения гелия, которые тоже отразились на веществе верхних слоев атмосферы. По оценкам, проведенным в работе [14], главный компонент в ходе эволюции потерял 70% веще-

#### модель атмосферы

ства, и если это произошло после выгорания гелия или на более поздних стадиях эволюции, то становятся понятными аномальные содержания тяжелых элементов.

Ростовский государственный уняверситет Ростовский пединститут

# THE MODEL ATMOSPHERE FOR THE BRIGHT COMPONENT OF THE BINARY SYSTEM > Sqr

#### V. V. LEUSHIN, G. P. TOPILSKAYA

A set model atmospheres for the bright component of system v Sgr has been computed with  $10\,000^{\circ} \ll T_{\bullet} \ll 14\,000^{\circ}$  and  $1.0 \ll \log g \ll 4.0$ . The chemical composition for models were obtained from analysis spectra with 8 A/mm of 6-meter telescope. The helium abundance were taken in ranges  $0.70 \div 0.95$ , hydrogen  $-0.01 \div 10^{-6}$  and heavy elements -0.05 + $\div 0.30$  by number of atoms. The theoretical continuum and the character of models have been compared with the observed spectrum. The atmosphere v Sgr is in agreement with models:  $T_{\bullet} = 13\,500^{\circ} \pm 200^{\circ}$ ,  $\log g =$  $= 1.5 \pm 0.25$ ,  $N(H)/\Sigma N = 10^{-6}$ ,  $N(He)/\Sigma N = 0.95$  and  $T_{\bullet} = 14\,000^{\circ} \pm 200^{\circ}$ ,  $\log g = 2.0 \pm 0.25$ ,  $N(H)/\Sigma N = 10^{-6}$ ,  $N'(He)/\Sigma N = 0.70$ .

## **ЛИТЕРАТУРА**

- 1. В. В. Леушин, Л. И. Снежко, Письма АЖ, 6, 171, 1980.
- 2.: В. И. Бурнашев, Изв. Крымской обс., 53, 104, 1981.
- 3. В. В. Кравцов. В. В. Леушин, Спектрофотометрический анализ атмосферы яркого компонента двойной системы v Sgr, Деп. № 99—82, 1981.
- 4. M. Wrubel, Ap. J., 109, 66, 1949.
- 5. М. Л. Евтихисва, В. В. Леушин, Химический состав атмосферы яркого компонента ТХ Leo, Ден. № 2083—81, 1981.
- 6. В. В. Леушин, В. В. Соколов, Астрсфиз. исслед. (Изв. САО), 12, 42, 1980.
- 7. K. Nartat, PAS Japan., 15, 17, 1963.
- 8. D. A. Klinglesmith, Hydrogen Line-Blanketed Model Stellar Atmosphere, NASA Sp - 3065, Washington, 1971.
- 9. R. S. Kurucz, SAO Spec. Report., 309, 1970.
- 10. S. Wriht, J. Argyros, Comm. Univ. London Obs., 76, 1975.
- .11. M. Hack, Mem. Soc. Astron. Italiana, 31, 43, 1960.
- 12. M. Hack, U. Flora, P. Santia, Close Binary Stars. ed. M. J. Plavec.
- M. Hack, Photometric and Spectroscopic Binary Systems, p. 271, 1980, eds. Carling E. B. and Kopal Z., D. Reidel Publ. Comp., 1981 p. 453.
- 14. P. Hellings, C. de Loore, M. Barger, H. S. L. M. Lamers, Astron. Astrophys., 101, 161, 1981.