

УДК 524.334-54

К ПРОБЛЕМЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО СТАТУСА ПОЛУПРАВИЛЬНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ QY Sge

© 2007 В. Г. Клочкова*, В. Е. Панчук, Е. Л. Ченцов, М. В. Юшкин

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 16 марта 2007; принята в печать 11 мая 2007

Многочисленные спектральные наблюдения на 6-м телескопе позволили получить новые данные о переменности лучевых скоростей аномального желтого сверхгиганта QY Sge. Самая интенсивная и пекулярная деталь в спектре — сложный профиль D-линий NaI, содержащий узкий и очень широкий эмиссионные компоненты. Широкая эмиссия прослеживается от -170 до $+120$ км/с, в центральной части она прорезана абсорбцией, которая в свою очередь разделена надвое узким (16 км/с на $r=2.5$) эмиссионным пиком. Анализ совокупности значений V_r позволяет рассматривать в качестве системной скорости величину $V_r = -21.1$ км/с, соответствующую положению узкого эмиссионного компонента NaI. Положение эмиссионных деталей D-линий NaI неизменно, что указывает на их формирование в областях, внешних по отношению к фотосфере сверхгиганта. Выявлены дифференциальные сдвиги линий около 10 км/с. Эмиссия в линии $H\alpha$ слабее, чем в D-линиях NaI, она почти полностью заливает фотосферную абсорбцию. Абсорбционные линии в спектре QY Sge имеют значительную ширину $FWHM \approx 45$ км/с. Методом моделей атмосфер определены параметры: эффективная температура $T_{eff} = 6250 \pm 150$ К, ускорение силы тяжести $lg g = 2.0 \pm 0.2$ и микротурбулентная скорость $\xi_t = 4.5 \pm 0.5$ км/с. Химический состав атмосферы звезды незначительно отличается от солнечного: обнаружена несколько повышенная металличность, средний избыток элементов железного пика составляет $[Met/H]_{\odot} = +0.20$. Получены слабые избытки содержания углерода и азота $[C/Fe] = +0.25$, $[N/Fe] = +0.27$. Элементы α -процесса Mg, Si и Ca имеют небольшой избыток в среднем $[\alpha/H]_{\odot} = +0.12$, избыток серы выше, $[S/\alpha] = +0.29$. Большой избыток натрия, $[Na/Fe] = +0.75$, вероятно, является следствием выноса в атмосферу вещества, переработанного в NeNa-цикле. Содержание тяжелых элементов s-процесса понижено относительно Солнца. В целом, наблюдаемые свойства QY Sge пока не дают оснований для включения этой звезды в группу звезд типа R CrB или RV Tau.

1. ВВЕДЕНИЕ

Желтый сверхгигант QY Sge ($S_p = G0e$) в Общем Каталоге переменных звезд [1] отнесен к типу полуправильных переменных. QY Sge, отождествляемая с ИК-источником IRAS 20056+1834, расположена вне плоскости Галактики: $b = -7.46^\circ$. Поляризационные наблюдения [2] на телескопе UKIRT в полосах J и H не выявили какой-либо протяженной структуры или отклонений от симметрии на уровне $FWHM = 0.67''$. Поляризация постоянна по всему изображению объекта, но значительно уменьшается с ростом длины волны: $P_J = 14\%$, $P_H = 7\%$. Авторы [2] отнесли IRAS 20056+1834 к группе PPN с хорошо выраженным ядром (“core-dominated object”) и компактной оптически толстой оболочкой. Пока нет однозначного ответа на вопрос о физическом

механизме поляризации излучения QY Sge в отсутствие протяженной оболочки, но ее отсутствие подтверждается и наблюдениями объекта на 15-м телескопе Максвелла (JCMT) в субмиллиметровом диапазоне [3]. В связи с этим авторы [3] пришли к выводу, что QY Sge находится в начальной стадии формирования оболочки. С этим выводом согласуется и высокая температура ($T_e \approx 600$ К) околозвездной пыли [4].

Внимание спектроскопистов к сверхгиганту QY Sge обусловлено его сложным оптическим спектром, включающим фотосферные и околозвездные компоненты, и прежде всего присутствием в спектре мощных широких эмиссионных компонентов D-линий дублета NaI, обнаруженных в спектрах низкого разрешения [4]. Оптический спектр QY Sge с высоким спектральным разрешением впервые был изучен в работе [5]. Ее авторы выделили основные спектральные компоненты (абсорбционный спектр G-сверхгиганта в соче-

*E-mail: valenta@sao.ru

тании с узкими эмиссиями низкого возбуждения и широкой эмиссией в D-линиях NaI), определили химический состав атмосферы сверхгиганта. Они предложили модель системы с околос звездным тором и биполярным истечением вещества. Согласно этой модели, центральная звезда полностью экранирована от наблюдателя, и мы видим излучение, отраженное от внутренней стенки тора.

В настоящее время нет согласия в определении статуса QY Sge (предложены версии: массивный сверхгигант, звезда типа RV Tau или R CrB, спектрально-двойная), в оценке расстояния (имеющиеся данные различаются на порядок), а также в понимании всех особенностей ее оптического спектра. Поэтому мы предприняли на 6-м телескопе спектральный мониторинг QY Sge с высоким спектральным разрешением и в данной работе представляем результаты первых 6-ти лет наблюдений.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Для спектроскопии высокого разрешения QY Sge — довольно слабый объект ($V=12.37^m$). Спектральный материал был получен нами с помощью снабженных ПЗС-матрицами эшелльных спектрографов 6-м телескопа БТА: PFES и NES. Спектрограф PFES [6] установлен в первичном фокусе телескопа, с помощью этого спектрографа в 1998 г. был получен спектр QY Sge с разрешением $R=17000$ и достаточно высоким отношением сигнал/шум ($S/N \approx 100$). Спектрограф НЭС использовался в 1998, 2002, 2003 и 2004 годах и обеспечил разрешение $R=60000$, но при ограниченном накоплении ($S/N \approx 40-50$). Последовательные этапы создания и совершенствования спектрографа НЭС представлены в публикациях [7–10]. На входе в спектрограф НЭС установлен резатель изображения на три среза, что обеспечивает выигрыш по потоку более чем вдвое [9]. Точное положение центра изображения звезды относительно этих срезов обеспечивается работой локального корректора [11]. Калибровка по длинам волн осуществляется по центральному компоненту эшелльных порядков спектра ThAg-лампы с помощью стандартных процедур контекста ECHELLE системы обработки ПЗС-изображений MIDAS.

Даты наблюдений и рабочие спектральные диапазоны указаны в верхних строках табл. 1. Приводимые в последующих строках таблицы результаты измерений интенсивностей линий и лучевых скоростей хорошо дополняются данными Rao et al. [5]: их спектры получены в летние сезоны 1999, 2000 и 2001 гг., пропущенные нами, и с таким же, как у нас, спектральным разрешением ($R=60000$).

Для оптимизации обработки двумерных спектров, полученных на эшелльных спектрографах с резателем изображения, написан пакет программ [12] на основе контекста ECHELLE. Каждый срез спектрального порядка мы экстрагируем отдельно, затем экстрагированные компоненты порядков суммируются с учетом их относительного сдвига по длине волны, вызванного конструктивными особенностями резателя изображения. Сдвиг каждого сателлитного компонента порядков вдоль дисперсии эшелле относительно центрального компонента порядка определяется методом кросс-корреляции по эмиссионному спектру ThAg-лампы полого катода, также полученному с резателем изображения. Отметим, что наличие относительного сдвига компонентов порядков вдоль дисперсии эшелле позволяет более эффективно устранять как следы космических частиц, так и дефекты ПЗС-матрицы (“горячие” элементы, “ловушки”, столбцы с нулевой чувствительностью), поскольку одинаковые спектральные детали в компонентах порядков приходятся на различающиеся элементы светоприемника.

Дисперсионные кривые скорректированы по теллурическим линиям. Остаточные систематические ошибки лучевых скоростей не превышают 2 км/с для спектра, полученного с PFES, для остальных спектров они ниже 1 км/с. Ошибки измерения в чистом виде оценены по спектрам, полученным с интервалом всего в 1 сутки, 27 и 28.07.02. Величины V_r в эти моменты наблюдений систематически не различаются, а средние ошибки составляют от 0.5 км/с для самых сильных ($0.4 < r < 0.55$) до 1.0 км/с для наиболее слабых ($0.85 < r < 0.8$) линий.

В связи с тем, что профили линий в спектре QY Sge отличаются сложной и изменчивой формой, важно отметить возможность, предоставляемую использованной нами программой [13] обработки экстрагированных спектров: положения отдельных частей и деталей профилей фиксируются путем взаимного сдвига по длине волны их прямых и зеркальных изображений.

3. ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА И ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ

Наши наблюдения подтвердили наличие в оптическом спектре QY Sge выявленных ранее основных особенностей: во всех наших спектрах имеется очень узкий, $\Delta\lambda=16$ км/с, и широкий, $\Delta\lambda \approx 290$ км/с, эмиссионный компонент D-линий NaI. Абсорбции металлов очень широкие: в 2–3 раза шире узкой эмиссии NaI, что указывает на формирование последней в околос звездной среде. Кроме того, мы отмечаем наличие сложного эмиссионно-абсорбционного профиля H α (см. рис. 1). Отметим,

Таблица 1. Журнал наблюдений QY Sge, остаточные интенсивности “г” и гелиоцентрические лучевые скорости для различных групп линий. Курсивом выделены неуверенные значения

Дата	10.07.98	14.07.98	27-30.07.02	16.08.03	28.08.04
Спектрограф	PFES	NES	NES	NES	NES
$\Delta\lambda$, нм	400–770	500–590	480–670	530–660	530–660
<u>FeI(15)</u>					
r	–	0.52	0.53	0.61	0.56
V_r	–9	–8	–10	–3	–13
ΔV_r	–	–27,+29	–27,+24	–23,+27	–34,+24
r_{max}	0.90	–	0.86	0.93	0.86
V_r	–21	–	–14	–3	–25
<u>D2, NaI(1)</u>					
узкая эмиссия					
r	3.2	5.7	4.9	5.0	5.9
V_r	–22	–21	–21	–21	–21
широкая эмиссия					
r	2.8	2.8	2.8	3.0	3.2
V_r	–33	–31	–33	–32	–33
абсорбция					
r	1.6	0.4	0.1	0.1	0.1
V_r	–18	–17	–17	–17	–18
ΔV_r	–	–70	–80	–75	–80
<u>Hα</u>					
абсорбция					
r	0.73	–	0.75	0.79	0.89
V_r	–23	–	–17	–13	–30

что ни в одном из наших спектров мы не обнаружили узких эмиссионных линий, отождествленных авторами [5] с низковозбужденными линиями металлов.

3.1. Отождествление и измерение параметров спектральных деталей

По нашей оценке, близкой к оценкам в работах [4] и [5], QY Sge имеет спектр сверхгиганта позднего подкласса F , больше половины линий принадлежит нейтральному железу. Это позволило нам при отождествлении линий и отборе минимально блендированных из них опираться на спектр сверхгиганта α Per (Sp= $F5 Ib$), полученный с той же аппаратурой, что и спектры QY Sge, а лабораторные длины волн, необходимые для определения

лучевых скоростей, брать в основном из таблиц солнечного спектра [14].

Отождествление основных линий, которые были использованы при изучении картины лучевых скоростей, приведено в табл. 2. В ней же для всех наших спектров представлены попарно центральные остаточные интенсивности “г” отобранных абсорбций и лучевые скорости, найденные по нижним частям их профилей. На рис. 2 даны примеры зависимостей между этими параметрами, $V_r(r)$. По разбросу точек на них можно судить о реальных погрешностях определения V_r , в которых к ошибкам измерения добавляются неточности лабораторных длин волн, эффекты неучтенного блендирования и локальных деформаций дисперсионных кривых. Изменение разброса от спектра к спектру вызвано не только различием экспозиций, но так-

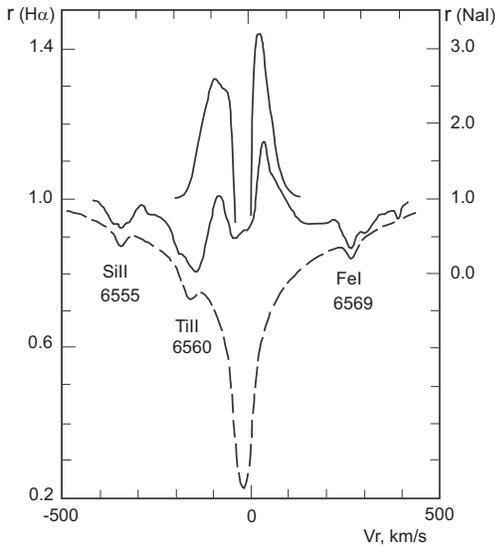


Рис. 1. Сверху вниз: профили линий NaI 5890 Å и Hα в спектре QY Sge 28.08.04 и Hα в спектре α Per. Теллурические абсорбции и узкая центральная эмиссия NaI удалены, профили сглажены. Шкала r для Hα слева, для NaI справа.

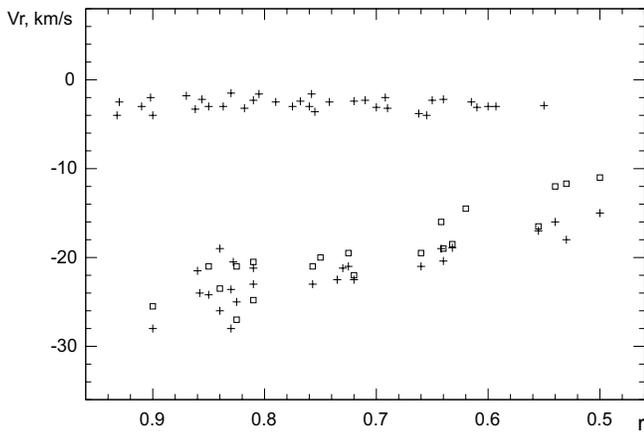


Рис. 2. Зависимости гелиоцентрической лучевой скорости от центральной остаточной интенсивности линии в спектрах QY Sge 2003 г. (вверху) и 2004 г. (внизу, крестики — V_r — по линиям в целом, квадратики — V_r — по ядрам линий).

же и изменениями со временем формы профилей линий. На рис. 2 сопоставлены зависимости $V_r(r)$, полученные для одного и того же спектрального интервала по спектрам 16.08.03 (когда абсорбции металлов были наиболее симметричными и узкими) и 28.08.04. Оцененные по ним средние ошибки определения V_r по одной линии сильно различаются — 0.6 и 2.0 км/с соответственно. С учетом погрешностей определения V_r их значения, приведенные в табл. 1 и 2, округлены до 1 км/с.

Выведение средних скоростей для отдельных

дат требует учета дифференциальных сдвигов линий, которые по нашим данным реальны и переменны: неувидимо малы в спектре, полученном 16.08.03, но вполне заметны в остальных наших спектрах. По величине максимальные взаимные сдвиги (около 10 км/с) близки к отмеченным в работе [5], но их характер иной: вместо резкого отскока V_r по резонансным линиям и абсорбциям низкого возбуждения мы наблюдаем монотонный рост скорости с усилением линии (нижняя кривая $V_r(r)$ на рис. 2). Впрочем, возможно, подобные зависимости могли бы быть получены и по материалу работы [5]. На это указывают два обстоятельства: 1) использованное в работе [5] спектральное разрешение не уступает нашему, отношение сигнал/шум (судя по Fig. 1, 2 из [5]) даже превышает наше, а приведенные в этой работе ошибки средних значений V_r близки к нашим ошибкам для одной линии; 2) абсорбции с низкими потенциалами возбуждения нижнего уровня относятся к наиболее сильным.

Таблица 2. Результаты отождествления спектра QY Sge и измерения центральной остаточной интенсивности r и гелиоцентрической лучевой скорости V_r , км/с, по различным спектральным деталям. См. пояснение в тексте. Курсивом выделены неуверенные величины

		1998		2002		2003		2004	
Линия	λ	r	V_r	r	V_r	r	V_r	r	V_r
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MnI(2)	4030.75	0.28	-18						
MnI(2)	4034.48	0.43	-13						
H δ	4101.74	0.20	-18						
TiII(105)	4163.65	0.62	-12						
SrII(1)	4215.52	0.41	-14						
FeI(152)	4222.21	0.64	-10						
FeI(152)	4235.93	0.39	-11						
CrI(1)	4254.33	0.59	-5						
CrI(1)	4274.80	0.50	-4						
CaI(5)	4318.65	0.79	-12						
H γ	4340.47	0.23	-12						
FeI(41)	4404.75	0.38	-8						
FeI(350)	4476.04	0.74	-13						
FeI(68)	4494.57	0.58	-13						
FeII(38)	4508.28	0.67	-9						
FeII(37)	4520.22	0.63	-9						

Таблица 2. (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BaII(1)	4554.03	0.55	-4						
FeII(38)	4576.33	0.70	-9						
CrII(44)	4588.20	0.71	-11						
TiII(50)	4589.95	0.75	-8						
FeI(39)	4602.94	0.72	-11						
FeII(37)	4629.33	0.70	-10						
FeI(820)	4643.46	0.86	-9						
MgI(11)	4702.99	0.70	-19						
FeII(43)	4731.47	0.67	-11						
FeI(38)	4733.59	0.77	-9						
FeI(554)	4736.78	0.68	-10						
MnI(16)	4754.04	0.77	-9						
FeI(821)	4768.33	0.81	-10						
TiII(92)	4779.98	0.79	-15						
MnI(16)	4783.42	0.78	-7						
TiII(92)	4805.09	0.75	-13						
H β	4861.33	0.35	-9	0.30	-10				
FeI(318)	4878.20	0.72	-11	0.65	-14				
FeI(318)	4920.50	0.63	-12	0.50	-7				
FeII(42)	4923.92	0.54	-5	0.39	-9				
Cl(13)	4932.05	0.84	-17						
BaII(1)	4934.08	0.55	-13	0.43	-9				
FeI(687)	4950.11	0.83	-12						
FeI(687)	4966.09	0.75	-17						
FeI(984)	4973.11	0.88	-13	0.80	-13				
FeI(966)	4978.60	0.83	-13						
NiI(112)	4980.18	0.83	-15	0.74	-14				
FeI(16)	5012.07	0.71	-12	0.56	-5				
FeII(42)	5018.44	0.56	-21	0.36	-12				
ScII(23)	5031.02	0.81	-14						
FeI(114)	5049.83	0.70	-16						
FeI(1)	5060.08	0.70	-14	0.65	-11				
FeI(383)	5068.76			0.70	-10				
FeI(1094)	5074.75	0.80	-9						
FeI(1)	5110.41	0.50	-9	0.42	-10				
FeI(16)	5127.36	0.69	-6	0.56	-5				

Таблица 2. (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FeI(1089)	5162.27	0.75	-14						
FeI(1)	5166.28	0.5	-9	0.49	-9				
MgI(2)	5167.32	0.5	-2	0.47	-1				
FeII(42)	5169.03	0.5	-14	0.35	-9				
MgI(2)	5172.68	0.55	-10	0.50	-6				
MgI(2)	5183.61	0.52	-2	0.44	-3				
FeI(66)	5202.33	0.78	-9	0.69	-13				
FeI(383)	5232.94			0.56	-10				
FeII(49)	5234.62	0.70	-13						
FeI(1)	5247.06	0.61	-12						
FeII(49)	5254.93	0.64	-10	0.55	-10				
FeI(383)	5281.79	0.74	-12	0.72	-12	0.78	-4		
FeI(929)	5288.53	0.93	-17						
FeI(553)	5302.30					0.76	-3		
CrII(24)	5305.86	0.84	-12	0.78	-16	0.83	-3		
CrII(43)	5313.58					0.81	-2		
FeII	5316.65	0.66	-6	0.52	-9	0.55	-3	0.56	-17
FeI(553)	5324.18	0.85	-10	0.64	-13	0.69	-3	0.55	-20
FeI(37)	5341.03			0.61	-12	0.65	-5		
FeI(1062)	5353.38							0.78	-19
FeII(48)	5362.86	0.75	-16	0.59	-12	0.65	-2	0.58	-15
FeI(1146)	5367.47					0.74	-4		
FeI(15)	5371.48	0.62	-12	0.52	-8	0.60	-3	0.50	-15
FeI(15)	5397.12	0.64	-9	0.53	-10	0.65	-4		
FeI(15)	5405.77	0.64	-10	0.54	-9	0.61	-3	0.53	-12
CrII(23)	5420.93							0.72	-25
FeI(15)	5429.70	0.64	-8	0.52	-9	0.60	-3	0.54	-14
FeI(15)	5434.53	0.68	-7			0.64	-2	0.56	-17
FeI(1144)	5441.34					0.93	-3		
FeI(1163)	5445.05							0.74	-21
FeI(15)	5455.61			0.57	-9				
FeI(15)	5497.51	0.76	-12	0.68	-10	0.69	-2	0.65	-19
FeI(15)	5506.78							0.67	-17
CrII(50)	5508.62					0.82	-3		
ScII(31)	5526.82					0.74	-2		
MgI(9)	5528.40	0.72	-12	0.64	-14	0.66	-4	0.61	-14

Таблица 2. (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FeI(1183)	5565.71	0.89	-11					0.82	-19
FeI(686)	5572.84	0.74	-9			0.72	-2		
FeI(686)	5586.76			0.63	-11	0.72	-2		
FeI(686)	5615.65					0.64	-3	0.62	-22
FeI(1314)	5633.95	0.89	-11	0.86	-11				
SiI(10)	5645.61	0.94	-15						
ScII(29)	5669.03	0.87	-16	0.82	-12	0.87	-1		
ScII(29)	5684.19							0.76	-22
NaI(6)	5688.21	0.76	-15	0.74	-11	0.76	-4		
FeI(1107)	5763.00			0.81	-14				
SiI(17)	5772.15	0.92	-16						
SiI(9)	5793.07					0.91	-3		
Cl(18)	5800.59	0.94	-15						
FeI(982)	5809.22	0.92	-16						
BaII(2)	5853.68	0.79	-9						
NaI(1)	5889.95	3.3	-22	4.9	-21	4.8	-21	6.0	-21
		1.7	-18	0.2	-17	0.2	-17	0.2	-18
NaI(1)	5895.92	3.0	-21	4.2	-21	4.2	-21	5.4	-21
		1.8	-18	0.3	-17	0.4	-17	0.3	-18
SiI(16)	5948.54	0.86	-11						
FeII(46)	5991.37	0.86	-16						
Cl	6014.85	0.95	-17						
NiI(27)	6016.64					0.90	-4		
FeI(1187)	6024.06					0.86	-3	0.82	-24
FeI(1018)	6027.05			0.86	-14	0.90	-1		
FeI(1259)	6056.01	0.89	-16	0.84	-13				
FeI(207)	6065.49			0.73	-13	0.83	-1		
CaI(3)	6122.22	0.81	-16	0.72	-12	0.77	-2	0.75	-21
BaII(2)	6141.72	0.70	-7	0.52	-8	0.61	-3	0.62	-14
CaI(3)	6162.17					0.76	-2		
FeI(62)	6173.34					0.91	-2		
FeI(62)	6219.29	0.85	-16			0.84	-3		
FeI(207)	6230.73	0.83	-20						
FeI(169)	6252.56					0.85	-3	0.82	-24
FeI(111)	6254.26					0.82	-3	0.81	-26
FeI(169)	6256.37					0.86	-2		

Таблица 2. (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FeI(62)	6265.14	0.88	-22	0.85	-15	0.87	-1	0.83	-23
FeI(342)	6270.23							0.83	-27
FeI(169)	6344.15					0.93	-4		
SiII(2)	6347.10	0.80	-15	0.72	-11	0.72	-6	0.75	-21
FeII(40)	6369.46					0.85	-3		
SiII(2)	6371.36	0.86	-23	0.78	-13	0.80	-6		
FeI(168)	6393.61	0.87	-18	0.76	-11				
FeI(816)	6400.01							0.71	-25
FeI(816)	6411.66	0.87	-23	0.79	-12				
FeII(74)	6416.92	0.86	-17	0.75	-15	0.80	-1		
FeI(111)	6421.36	0.84	-20	0.73	-11				
FeI(62)	6430.85					0.82	-3		
FeII(40)	6432.68	0.84	-20	0.76	-11	0.79	-2	0.78	-20
CaI(18)	6439.08	0.75	-20	0.73	-13	0.77	-2	0.72	-21
CaI(19)	6449.82	0.84	-15	0.84	-12			0.82	-20
FeII(74)	6456.38	0.74	-15	0.67	-13	0.70	-3	0.67	-21
CaI(18)	6471.66	0.90	-20	0.85	-18				
H α	6562.81	0.75	-165	0.76	-180	0.81	-95	0.75	-150
		0.73	-23	0.72	-13	0.74	-11	0.81	-26
FeI(1253)	6569.22			0.83	-12	0.87	-3		
Cl(22)	6587.61	0.87	-28						
TiII(91)	6606.95					0.93	-2		
FeI(206)	6609.12	0.92	-19						
Cl	6655.51	0.95	-14						
FeI(268)	6677.99			0.77	-12				
CaI(32)	6717.69	0.90	-17	0.88	-12				
Cl	7115.19	0.86	-26						
KI(1)	7664.87	1.6	-22						
KI(1)	7698.97	1.6	-25						

На наклон зависимости $V_r(r)$ может повлиять асимметрия линий, которая хорошо видна на профилях линий FeI, представленных на рис.3. В спектре 28.08.04 ядра абсорбций смещены в красную сторону относительно крыльев и четче прорисованы у более глубоких линий. Вследствие этого скорость, измеренная на уровне половины центральной глубины (средняя для линии в целом), увеличивается с глубиной линии меньше, чем ско-

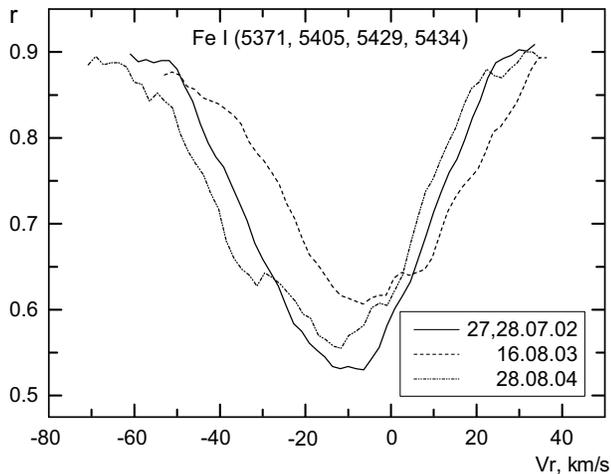


Рис. 3. Сопоставление усредненных профилей группы линий Fe I (15) в спектрах 2002, 2003 и 2004 гг.

рость, измеренная по самой нижней части профиля (крестики и квадратики на рис. 2 соответственно).

В двух верхних строках табл. 1 приведены значения r и V_r (относящиеся к нижним частям профилей фотосферных абсорбций) для правых концов кривых $V_r(r)$, представленных линиями 15-го мультиплета Fe I. Ниже, в 4-й и 5-й строках этой таблицы, даны эти же величины для самых слабых линий (левые концы кривых $V_r(r)$). Подтверждается вывод о переменности лучевой скорости QY Sge, сделанный авторами [5]. К сожалению, в их работе дифференциальные сдвиги линий в спектрах QY Sge не рассмотрены, а приводятся только средние для каждого из сезонов скорости (от -23 до -9 км/с), которые, однако, хорошо согласуются с нашими. Чтобы проиллюстрировать переменную асимметрию линий Fe I (15), в 3-й сверху строке табл. 1 приведены сдвиги точек на синем и на красном склонах их профилей относительно ядер, измеренные на половине точек их глубины. Для снижения шумов было выполнено усреднение профилей нескольких близких по интенсивности абсорбций, его результат показан на рис. 3. Видно, что профили 2003 и 2004 гг. не только не симметричны, но и заметно деформированы. На красном склоне первого и на синем склоне второго усреднение уверенно выявляет депрессии, похожие на те, что наблюдаются в спектрах двухспектровых двойных. Однако гипотеза двойственности не подтверждается: она предполагает, что главный и вторичный компоненты профиля смещаются в противоположных направлениях. Между тем профиль 2003 г. целиком смещен в красную сторону относительно профиля 2004 г. Сопоставление спектров 2002 и 2003 гг. показывает также, что вариации микротурбуленции и (или) радиального градиента скорости в атмосфере звезды не могут быть ни единственной,

ни даже основной причиной изменения профилей абсорбций. Углубление линий в первом спектре не сопровождается их уширением и усилением. Особенно это заметно у абсорбций умеренной и малой интенсивности ($r \geq 0.7$). И специфическая форма профилей и характер ее изменений лучше объясняются рассеянием света звезды пылевой оболочкой неоднородной плотности. Известно, что рассеяние излучения на пылинках в расширяющейся сферической оболочке вызывает уширение и асимметрию фотосферных абсорбций, а также их сдвиг в длинноволновую сторону [15]. Такое красное смещение было известно давно, но уверенно выявлено только после определения системных скоростей холодных сверхгигантов по линии гидроксила (см., например, [16]). На снимке 2-го Паломарского обзора (<http://archive.stsci.edu/dss>) в синем фильтре вокруг QY Sge видна рассеивающая пылевая туманность (протяженностью до $30''$), что позволяет предположить существование расширяющейся пылевой оболочки вблизи звезды.

3.2. Пекулярный профиль D-линий Na I

Эмиссионные линии (или компоненты) дублета натрия наблюдаются в спектрах ряда хорошо изученных post-AGB-звезд. Например, слабая эмиссия, блендированная, по-видимому, межзвездной абсорбцией, содержится в спектре высокоширотного сверхгиганта 89 Her [17]. Сложный эмиссионно-абсорбционный профиль D-линий Na I наблюдается также в спектре очень высокого разрешения ($\approx 10^5$) звезды HR 4049, полученном Бэккером и др. [18] со спектрографом CES на телескопе CAT. Авторы [18] предположили, что переменность части компонентов Na I — результат переменной эмиссии.

Мы использовали D-линии Na I для рассмотрения структуры околосреднего вещества в системе QY Sge. Локальный корректор положения звезды можно было настроить так, чтобы на различные срезы резателя изображений (размером 0.6×1.8 угл. сек каждый) проецировались участки изображения, расположенные на различном расстоянии от центра изображения звезды. При качестве изображений около 1 угл. сек и ошибках работы корректора не более 0.1 угл. сек можно утверждать, что доли света, приходящего от звезды и ее окрестностей, были различны для разных срезов. На рис. 4 приведены профили D-линий Na I для 3-х угловых расстояний от центра изображения звезды. Отметим три важные особенности этого рисунка. Во-первых, при нормировке каждого из спектров на свой уровень континуума относительные интенсивности узких эмиссий сохраняются. Наиболее простым объяснением этого является

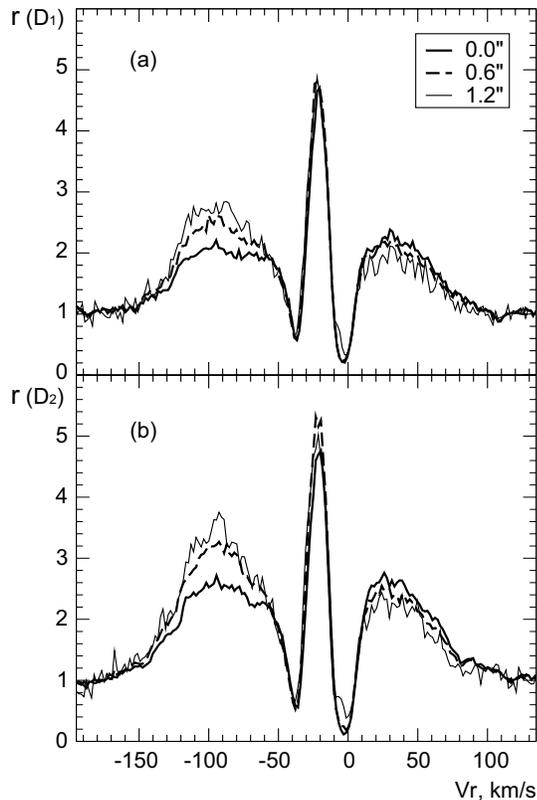


Рис. 4. Профили линий NaI D1 (вверху) и D2 (внизу) в спектре QY Sge (дата наблюдений 16.08.03.) на разных расстояниях от центра изображения звезды.

предположение, что размеры области формирования узких эмиссий дублета натрия находятся ниже предела углового разрешения телескопа. Во-вторых, соотношение интенсивностей узких эмиссий у линий дублета близко к единице, тогда как в отсутствие самопоглощения верхние уровни заселяются пропорционально статистическому весу и это соотношение должно приближаться к 2. Равенство интенсивностей можно объяснить либо повышенной концентрацией атомов натрия, при которой резонансное рассеяние излучения в линиях выравнивает соотношение интенсивностей эмиссионных компонентов (в этом случае число атомов на луче зрения должно быть не менее 10^{10} см^{-2}), либо действием механизма резонансной флуоресценции, при котором соотношение интенсивностей эмиссий определяется соотношением потоков подсветки (в ядрах линий фотосферного спектра). Флуоресценцию можно наблюдать лишь в том случае, когда подсвечивающий источник (звезда) скрыт от непосредственного наблюдения и его излучение не перекрывает слабую флуоресценцию. В-третьих, по широким (высокоскоростным) компонентам линий дублета видно, что с увеличением расстояния растет вклад эмиссии, смещенной в коротковолновую сторону, а вклад длинноволнового компо-

нента несколько снижается. Усиление коротковолновой эмиссии по мере продвижения от звезды вдоль туманности свидетельствует о том, что мы наблюдаем все увеличивающийся относительный вклад от приближающихся к нам областей околозвездной оболочки, а вклад удаляющихся областей остается практически неизменным. Этот эффект можно объяснить в предположении, что области движения газа, имеющие проекции скорости на луч зрения “к наблюдателю” и “от наблюдателя”, пространственно разделены (в пределах квадрата со стороной 1.8 угл. сек.). Если допустить осевую симметрию высокоскоростных движений (как это принято в модели [5]), то данные рис. 4 можно использовать для оценки соотношения угла раскрытия конусов (α), в пределах которых заключены высокоскоростные движения, и угла наклона (β) оси конусов к картинной плоскости: $\beta + \alpha/2 = 90^\circ$. И наконец, из рис. 4 можно сделать вывод, что профили подобной формы наблюдаются лишь в тех случаях, когда излучение центральной звезды сильно ослаблено, т.е. звезда частично или полностью скрыта от прямого наблюдения. Например, у звезд типа R CrB (UW Cen [19], S Aps [20], собственно у R CrB [21]), у звезды FG Sge [22] – в периоды ослабления блеска наблюдаются похожие профили резонансного дублета натрия, с той разницей, что высокоскоростные компоненты намного шире и перекрываются, а узкие эмиссии также показывают значительную ширину (около 0.5 \AA).

Остановимся на временном изменении D-линий NaI. Параметры эмиссионно-абсорбционного профиля резонансной линии D2 NaI в спектре QY Sge для всех моментов наших наблюдений приведены в табл. 1, а его форма и изменения со временем показаны на рис. 5. В табл. 1 величины r относятся к вершинам узкой эмиссии и более высокого из двух горбов широкой эмиссии и к ядру более глубокого (красного) компонента абсорбции, а величины V_r – к верхней части эмиссионного пика и нижним частям широкой эмиссии и абсорбции в целом. Профиль во всех деталях совпадает с описанным в работе [5]. Он состоит из широкой эмиссии, прослеживающейся от -170 до $+120$ км/с и прорезанной в центральной части абсорбцией, которая в свою очередь разделена надвое узким (16 км/с на $r = 2.5$) эмиссионным пиком. Узкая эмиссия и основание широкой эмиссии симметричны. Абсорбция асимметрична: с красной стороны она ограничена резко (весь перепад интенсивности укладывается в интервал $0 < V_r < 15$ км/с), нижняя часть синего крыла также крутая, но на $V_r \approx -50$ км/с происходит его излом, крыло становится пологим и простирается по крайней мере до $V_r \approx -95$ км/с.

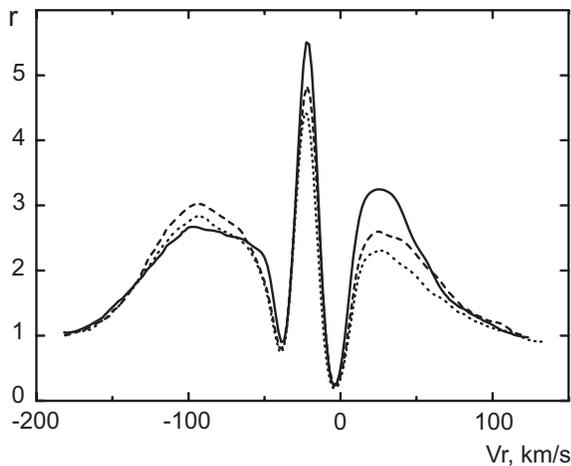


Рис. 5. Изменение со временем профиля линии D2 NaI в спектре QY Sge. Пунктир – 2002 г., штриховая линия – 2003 г., сплошная линия – 2004 г. Теллурические абсорбции удалены, профили сглажены.

Значения V_r для абсорбции послужили нуль-пунктами при оценках протяженности её синего крыла. Эти оценки (ΔV_r) также приводятся в табл. 1. На рис. 3 из работы [5] видно, что длинноволновый компонент высокоскоростного профиля усиливается при переходе от спектра 1999 г. к спектру 2000 г. Эта переменность профиля, которой авторы не придали значения, подтверждается нашими последующими наблюдениями (рис. 5). В целом, можно утверждать, что уверенно обнаружено изменение со временем интенсивности узкой эмиссии и отношения интенсивностей горбов широкой эмиссии, но положения основных составляющих профиля в шкале лучевых скоростей сохраняются.

Из факта неизменного положения эмиссионных деталей NaI следует, что они формируются в областях, внешних по отношению к фотосфере сверхгиганта. Основной помехой при истолковании профиля NaI(1) оказывается узкая эмиссия, перекрывающая ядро абсорбции. Если ее исключить из рассмотрения, то профиль можно представить как комбинацию ветрового P Cyg-профиля и межзвездной абсорбции. Фотосферная абсорбция также должна присутствовать, но ее вклад не может быть существенным: она могла бы лишь ненамного понизить центральную часть широкой эмиссии, во всяком случае не до уровня континуума, и, как видно из табл. 1, ни сами лучевые скорости сильных фотосферных линий FeI, ни их колебания не воспроизводятся абсорбционной составляющей линии NaI. Что касается P Cyg профиля, то имеется в виду его тип III по Билсу [23]: синесмещенная абсорбция между двумя эмиссионными вершинами, из которых красная существенно выше синей. В нашем случае последнее не соблюдается вследствие того, что красная составляющая подрезана

и ослаблена межзвездной абсорбцией. По имеющимся данным ([24] и др.) средняя гелиоцентрическая лучевая скорость для межзвездной среды на галактической долготе QY Sge ($l = 58^\circ$) вблизи Солнца – около -15 км/с, а с удалением принимает значения $0 \div 10$ км/с. В этот интервал скоростей как раз и попадает красный компонент абсорбций, более глубокий в профиле NaI(1) и доминирующий в профиле резонансной линии K1(1) 7699Å.

3.3. Профиль H α

Линия H α в спектре QY Sge по сравнению с линиями NaI(1) менее выразительна, но сходство их профилей очевидно. К сожалению, в работе [5] профиль H α не приведен, авторы лишь отмечают, что H α сопоставима с широкой эмиссией NaI(1). Это подтверждают и наши данные – рис. 1, на котором профили обеих линий в спектре 2004 г. представлены вместе с профилем H α в спектре звезды сравнения α Per F5Ib. Эмиссия в H α слабее, чем в линиях NaI(1), она почти полностью заливает фотосферную абсорбцию, так что перепад интенсивности в ней оказывается небольшим: $0.7 < r < 1.1$. В работе [4] в спектрах низкого разрешения линия вообще неразличима. Фотосферные крылья, особенно коротковолновое, ясно видны, однако, помня о трудностях воспроизведения континуума эшелюного спектра, мы ограничиваемся рассмотрением центральной, ветровой, части профиля. Узкая эмиссия в H α QY Sge отсутствует (на рис. 1 она удалена и из профиля NaI), а положения и относительные высоты широких эмиссионных пиков повторяют друг друга в профилях H α и NaI. Повидимому, то же можно сказать и о положениях разделяющих пики абсорбций, небольшие расхождения приводимых в табл. 1 значений V_r могут быть вызваны межзвездной составляющей NaI. Не исключено также, что ветровая абсорбция H α вносит некоторый вклад (наряду с линией TiII 6560 Å) и в депрессию на $V_r \approx -150 \div -200$ км/с.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Абсорбционные линии в спектре QY Sge имеют значительную ширину $FWHM \approx 45$ км/с. Подобное уширение профилей абсорбционных фотосферных линий наблюдается в спектрах ряда звезд на стадии post-AGB. Например, в спектре AFG 2688 ширина фотосферных линий достигает 40 км/с [25, 26]. Механизмы столь сильного уширения линий у сверхгигантов не совсем понятны. В случае AFG 2688 были попытки объяснить уширение рассеянием на движущейся пыли [26],

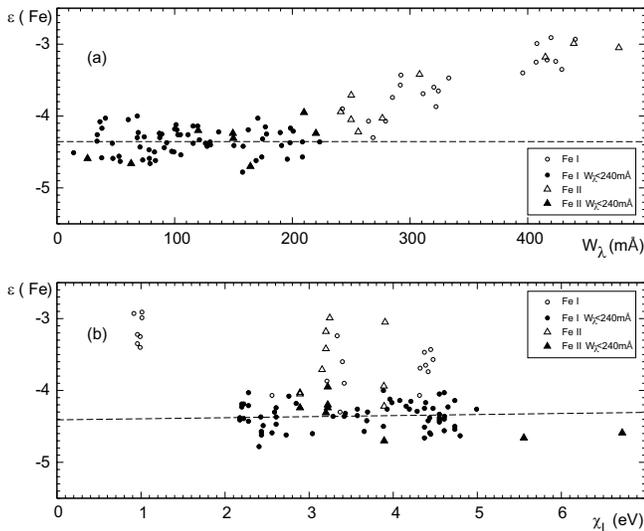


Рис. 6. Содержания железа $lg \epsilon(Fe)$, определенное по линиям FeI и FeII: а) в зависимости от эквивалентной ширины линий W_λ , б) от потенциала возбуждения нижнего уровня χ_L .

когда мы видим только излучение, рассеянное на пыли, а сама звезда закрыта пылевым тором.

Большинство линий в спектре QY Sge сильно блендированы из-за значительной их ширины, что усложняет задачу измерения эквивалентных ширин. Основная часть эквивалентных ширин W_λ линий измерена по спектру с наибольшим отношением сигнал/шум, полученному на спектрографе PFES; в отдельных случаях для измерений W_λ использовались спектры с большим разрешением, полученные на спектрографе НЭС. Увеличение спектрального разрешения не дает преимуществ в отождествлении спектральных деталей, однако разделение бленд по спектрам с более высоким разрешением происходит с большей точностью. Кроме того, высокое спектральное разрешение обеспечивает разделение на компоненты сложных профилей с узкими эмиссиями.

Определение параметров атмосферы звезды проводилось методом моделей атмосфер по многочисленным линиям железа. В качестве первого приближения мы использовали параметры атмосферы QY Sge, полученные в работе [5]. Эффективная температура T_{eff} определялась из условия независимости содержания железа, определенного по индивидуальным линиям FeI, от потенциала возбуждения соответствующих линий. Ускорение силы тяжести $lg g$ зафиксировано из условия ионизационного баланса, т.е. равенства содержания железа, определенного по линиям FeI и линиям иона FeII. Величина микротурбулентной скорости ξ_t определялась из условия независимости содержания железа от эквивалентной ширины

соответствующих линий FeI. В своих расчетах мы использовали сетку моделей Куруца [27], содержание элементов определялось с помощью программы WIDTH9. Потенциалы возбуждения и силы осцилляторов для всех линий, а также константы уширения, были взяты из базы данных атомных линий VALD [28].

Как и у большинства сверхгигантов, в случае QY Sge нам не удалось подобрать единой величины микротурбулентной скорости для полного набора линий, формирующихся на разных глубинах в атмосфере звезды. На рис. 6а представлено содержание железа $lg \epsilon(Fe)$ в зависимости от эквивалентной ширины индивидуальных линий FeI (кружки) при $\xi_t = 4.5$ км/с. Видно, что при выбранных параметрах модели атмосферы нет зависимости между интенсивностью линий и содержанием железа, определенным по слабым линиям с эквивалентной шириной $W_\lambda < 240$ mÅ (темные кружки). Результат линейной регрессии по слабым линиям показан штриховой линией. В то же время более сильные линии с $W_\lambda > 240$ mÅ (пустые кружки) значительно отклоняются на этом графике в сторону больших величин $lg \epsilon(Fe)$. Попытки определить микротурбулентную скорость по сильным линиям дают значение $\xi_t = 15$ км/с. Подобное обстоятельство зачастую объясняется изменением микротурбулентной скорости с глубиной в атмосфере звезды. Немаловажную роль играет и отклонение от условия локального термодинамического равновесия (ЛТР) в атмосферах сверхгигантов: сильные линии, как правило, более чувствительны к неЛТР-эффектам. Учет отклонений от ЛТР для линий FeI несколько усиливает ход микротурбулентной скорости с глубиной [29], поэтому увеличение ξ_t для более сильных линий не может быть объяснено отклонениями от ЛТР в атмосфере QY Sge. Косвенным подтверждением такого вывода может служить аналогичный результат по линиям иона железа FeII, хотя линии FeII менее чувствительны к неЛТР-эффектам. На рис. 6 результаты по линиям FeII показаны треугольниками: темные треугольники — линии с $W_\lambda < 240$ mÅ, светлые треугольники — линии с $W_\lambda > 240$ mÅ. Полученная нами по слабым линиям величина микротурбулентной скорости $\xi_t = 4.5 \pm 0.5$ км/с совпадает с результатом, полученным в работе [5].

На рис. 6б, приведено содержание $lg \epsilon(Fe)$ в зависимости от потенциала возбуждения нижнего уровня χ_L соответствующего перехода. Штриховой линией показан результат линейной регрессии для линий FeI с $W_\lambda < 240$ mÅ (темные кружки). При $T_{eff} = 6250 \pm 150$ К нет значимой корреляции между содержанием железа по слабым линиям

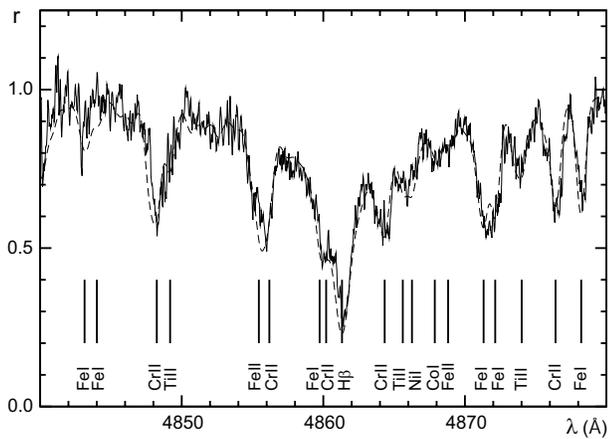


Рис. 7. Сопоставление наблюдаемого (сплошная линия) спектра QY Sge в области линии H_{β} и теоретического спектра, рассчитанного с параметрами $T_{eff} = 6250$ K, $lg g = 2.0$, $\xi_t = 4.5$ км/с и металличностью $[Fe/H]=0$.

FeI и потенциалом возбуждения. Полученная нами эффективная температура оказалась несколько выше $T_{eff}=5850\pm 200$ K из работы [5], однако с учетом ошибок определения температуры разница незначительная.

Совпадение содержания железа, определенного по линиям FeI и FeII, в пределах ошибок измерений происходит при ускорении силы тяжести $lg g = 2.0 \pm 0.2$. При данных параметрах атмосферы QY Sge определенное по группе из 66-ти слабых линий FeI среднее содержание железа составляет $lg \epsilon(Fe)=7.64$, что на 0.14 dex больше солнечного. Содержание железа по группе из 8-ми слабых линий FeII имеет ту же величину $lg \epsilon(Fe)=7.64$. Из рис. 6а видно, что при параметрах модели атмосферы QY Sge $T_{eff} = 6250$ K, $lg g = 2.0$ и $\xi_t = 4.5$ км/с содержания железа по линиям FeI и FeII согласуются во всем диапазоне эквивалентных шириин. Определенное нами ускорение силы тяжести $lg g=2.0$ значительно отличается от величины $lg g=0.7$, полученной в работе [5], что, по-видимому, свидетельствует о меньшей светимости звезды, чем предполагалось ранее.

На рис. 7 приведены для сравнения наблюдаемый спектр QY Sge в области линии H_{β} и теоретический спектр, рассчитанный с нашими параметрами атмосферы с помощью программы SynthV [30]. Хорошее согласие двух спектров свидетельствует, во-первых, о правильности выбранных нами фундаментальных параметров атмосферы QY Sge, а во-вторых, опровергает гипотезу о принадлежности QY Sge к классу переменных звезд типа R CrB, которым присущ дефицит водорода в атмосфере.

Список линий с измеренными эквивалентными ширинами и результатами расчета содержания

элементов по индивидуальным линиям доступен в Интернете по адресу: <http://ales.sao.ru/ftp/pub/QYSge-lines.html>. При расчете химического состава звезды, как и определении параметров атмосферы, использовались линии с эквивалентной шириной $W_{\lambda} < 240$ mÅ. Результаты расчета содержания различных химических элементов в атмосфере QY Sge, усредненные по набору использованных линий, приведены в табл. 3. Там же приведено стандартное отклонение σ содержания элементов и количество линий “n”, использованных в анализе. Величина дисперсии является хорошим индикатором точности наблюдательных данных для элементов с достаточно большим числом линий. Из таблицы видно, что стандартное отклонение, как правило, не превышает $\sigma < 0.27$ dex при числе линий $n > 8 \div 10$. Помимо ошибок наблюдательных данных, ошибки в содержание химических элементов вносит неопределенность полученных значений параметров принятой модели атмосферы. В табл. 4 дана сводка ошибок, обусловленных неопределенностью основных параметров звезды. Из таблицы видно, что большие ошибки определения содержания возникают из-за неточности определения эффективной температуры, особенно для линий нейтральных атомов с низкими потенциалами возбуждения. Для линий ионов превалирует ошибка из-за неточности определения $lg g$. Вклад в ошибку из-за неточности параметра микротурбулентной скорости невелик, так как мы использовали достаточно слабые линии с $W_{\lambda} < 240$ mÅ. Надо иметь в виду два обстоятельства: во-первых, параметры модели не являются независимыми величинами (например, изменение температуры изменит ускорение силы тяжести), а, во-вторых, определение относительных (по отношению к железу) содержаний снижает ошибку из-за неточности параметров.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1. Содержание химических элементов

Содержание железа в атмосфере QY Sge, как отмечалось ранее, несколько выше солнечного, $[Fe/H]_{\odot}=+0.14$. Еще выше избыток содержания элементов железного пика, у марганца он максимальный, $[Mn/H]_{\odot}=+0.35$, при этом содержание цинка практически солнечное, $[Zn/H]_{\odot}=+0.04$. Средний избыток элементов железного пика V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu и Zn составляет $[Met/H]_{\odot}=+0.20$. Хорошее согласие содержаний элементов V и Cr, полученных по линиям нейтральных атомов и линиям ионов, подтверждает корректность определения величины ускорения силы тяжести.

Из группы CNO-элементов было определено содержание углерода и азота. Для азота использована одна уверенно отождествляемая линия

$\lambda 7468 \text{ \AA}$, остальные же из доступных в зарегистрированном диапазоне длин волн линий нейтрального азота блендированы. Мы получили избыток содержания углерода и азота, при этом отношение C/N в атмосфере QY Sge близко к солнечному. Это отношение C/N является индикатором выноса в атмосферу звезды вещества, переработанного в ядерных реакциях. С развитием конвекции после ухода звезды с главной последовательности содержание углерода уменьшается из-за выноса вещества, переработанного в CNO-цикле. В то же время содержание азота растет, поэтому отношение C/N уменьшается. При дальнейшей эволюции звезды содержание углерода увеличивается, а азот перерабатывается в более тяжелые элементы из-за реакций ядерного синтеза с участием α -частиц. При выносе вещества, участвовавшего в реакциях горения гелия, отношение C/N снова увеличивается. Возможно, что в случае QY Sge мы наблюдаем в атмосфере звезды вещество, переработанное как в процессах горения водорода в CNO- и NeNa-циклах, так и в α -процессе.

Содержание элементов, относящихся к группе легких металлов, в среднем также выше солнечного. Избыток элементов α -процесса Mg, Si и Ca невелик: в среднем $[\alpha/H]_{\odot} = +0.12$, в то время как для серы избыток несколько выше, $[S/\alpha] = +0.29$. Содержание скандия солнечное в пределах ошибок измерений. Титан, напротив, наблюдается в дефиците, причем содержание титана, определенное по линиям TiII, значимо ниже солнечного. Линии TiI в спектре QY Sge очень слабы, ошибки измерения сравнимы с величинами эквивалентных ширин, поэтому мы считаем более достоверным результат, полученный по линиям TiII, а именно, дефицит титана оцениваем как $[Ti/H]_{\odot} = -0.42$.

Из группы легких металлов наибольший избыток имеет натрий: $[Na/H]_{\odot} = +0.89$. Избыток натрия зачастую объясняется повышенной чувствительностью линий этого элемента к неЛТР-эффектам. В спектрах сверхгигантов линии NaI как правило существенно усилены по сравнению со случаем ЛТР, неЛТР-поправки к содержанию натрия, определенному по отдельным линиям, могут достигать -0.75 у сверхгигантов [32]. Для вычисления содержания Na в атмосфере QY Sge мы использовали слабые субординатные линии 5682 , 5688 и 6160 \AA , которые менее чувствительны к неЛТР-эффектам. С учетом неЛТР-поправок, взятых из работы [32] для параметров атмосферы QY Sge, избыток содержания натрия составляет $[Na/H]_{\odot} = +0.83$, что в пределах ошибок совпадает с полученным в приближении ЛТР значением. Таким образом, наблюдаемый в атмосфере QY Sge избыток натрия $[Na/Fe] = +0.75$ в основном является следствием выноса в атмосферу QY Sge

вещества, переработанного в NeNa-цикле горения водорода.

Содержание тяжелых элементов s - и r -процессов не поддается однозначной трактовке. Элемент s -процесса Ba имеет избыток относительно железа, $[Ba/Fe] = +0.33$, в то время как содержание другого элемента s -процесса, Nd, слегка понижено: $[Nd/Fe] = -0.18$. Следует иметь в виду, что линии BaII в спектре QY Sge очень сильные, даже самая слабая линия 5853 \AA , по интенсивности которой мы определили содержание бария, имеет эквивалентную ширину $W_{5853} = 260 \text{ m\AA}$. Другие, еще более сильные линии, дают бóльший избыток бария. Элемент r -процесса Eu также находится в небольшом избытке, $[Eu/Fe] = +0.26$. Иттрий образуется как в s -, так и в r -процессе, однако в атмосфере QY Sge наблюдается существенный дефицит этого элемента, $[Y/Fe] = -0.82$.

Интересно отметить, что в атмосфере QY Sge выявлен большой дефицит двух элементов Y и Ti, для которых характерна наиболее высокая температура конденсации $T_{cond} \approx 1600 \text{ K}$. Вслед за авторами [5] можно было бы предположить, что у этой звезды мы наблюдаем эффекты конденсации тугоплавких элементов, подобные эффекты часто наблюдаются у звезд типа RV Tau. Однако такому предположению противоречит, во-первых, близкое к солнечному отношение содержаний цинка и скандия $[Zn/Sc] = +0.05$, T_{cond} для которых различаются почти на тысячу градусов. То же самое можно сказать и о соотношении пары цинк-кальций $[Zn/Ca] = -0.03$, со столь же большой разницей T_{cond} . Во-вторых, на неэффективность процесса конденсации для QY Sge указывает и высокое содержание железа.

5.2. Картина лучевых скоростей

Картина лучевых скоростей V_r в спектрах звезд типа RV Tau сложна: она включает орбитальное движение с периодами месяцы-годы наряду с другими типами движений. Например, орбитальный период AC Her, типичной и хорошо изученной звезды типа RV Tau, $P_{orb} \approx 1200^d$ [33], дополняется пульсационной составляющей с характерным периодом $P_{puls} \geq 20^d$, а также вероятной прецессией околосреднего диска (тора). Очевидно, что необходим длительный однородный спектральный мониторинг на временной шкале всех перечисленных типов неустойчивости.

Наши измерения лучевых скоростей по абсорбционному спектру QY Sge подтверждают и детализируют вывод работы [5] об изменениях V_r как со временем, так и от линии к линии. Накопленных данных все еще недостаточно для прямой проверки

Таблица 3. Содержания химических элементов $\epsilon(X)$ в атмосфере QY Sge. Здесь σ — дисперсия содержания, n — число использованных в расчете линий. Содержания химических элементов $\epsilon(X)_{\odot}$ в атмосфере Солнца взяты из работы [31].

X	$\epsilon(X)_{\odot}$	$\epsilon(X)$	σ	n	$[X/H]_{\odot}$	$[X/Fe]$
Cl	8.55	8.94	0.09	9	+0.39	+0.25
Ni	7.97	8.38		1	+0.41	+0.27
NaI	6.33	7.22	0.09	3	+0.89	+0.75
MgI	7.58	7.74	0.03	2	+0.14	+0.00
SiI	7.55	7.71	0.23	21	+0.16	+0.02
Si	7.21	7.62	0.09	4	+0.41	+0.27
CaI	6.36	6.43	0.12	8	+0.07	-0.07
ScII	3.17	3.16	0.22	5	-0.01	-0.15
TiI	5.02	4.84	0.10	3	-0.18	-0.32
TiII		4.60	0.09	4	-0.42	-0.56
VI	4.00	4.20	0.05	2	+0.20	+0.06
VII		4.16	0.04	3	+0.16	+0.02
CrI	5.67	5.95	0.24	5	+0.28	+0.14
CrII		6.05	0.19	9	+0.38	+0.24
MnI	5.39	5.74	0.05	3	+0.35	+0.21
FeI	7.50	7.64	0.18	66	+0.14	-
FeII		7.64	0.26	8	+0.14	-
CoI	4.92	5.10	0.06	2	+0.18	+0.04
NiI	6.25	6.49	0.19	12	+0.24	+0.10
CuI	4.21	4.38		1	+0.17	+0.03
ZnI	4.60	4.64	0.12	2	+0.04	-0.10
YII	2.24	1.56	0.03	3	-0.68	-0.82
BaII	2.13	2.60		1	+0.47	+0.33
NdII	1.50	1.46	0.28	3	-0.04	-0.18
EuII	0.51	0.91	0.04	2	+0.40	+0.26

гипотез о принадлежности объекта к переменным типа RV Tau и (или) о его двойственности. Вместе с тем получены новые аргументы в пользу модели, предложенной в [4] и доработанной в [5]. Согласно этой модели, значительная часть доступного нам излучения звезды (если не все это излучение) приходит из внутренних областей пылевой оболочки тороидальной формы. Кинематическая ситуация в видимой части тора определяет ширину и сдвиг линии в целом, а для объяснения дискретных компонентов ее “рваного” профиля (см. рис. 3) необ-

Таблица 4. Ошибки расчета содержания различных химических элементов в атмосфере QY Sge $\Delta \log \epsilon(X)$, обусловленные неточностью определения параметров атмосферы звезды

X	ΔT_{eff} -250 K	$\Delta \log g$ -0.2	$\Delta \xi_t$ -0.5 km/s
Cl	+0.10	-0.15	+0.02
Ni	+0.18	-0.15	+0.03
NaI	-0.12	-0.09	+0.13
MgI	-0.13	-0.11	+0.10
SiI	-0.11	-0.09	+0.03
Si	+0.05	-0.12	+0.04
CaI	-0.16	-0.09	+0.03
ScII	-0.08	-0.14	+0.12
TiI	-0.20	-0.08	+0.01
TiII	-0.07	-0.14	+0.08
VI	-0.22	-0.08	+0.01
VII	-0.05	-0.13	+0.01
CrI	-0.20	-0.10	+0.06
CrII	+0.01	-0.15	+0.11
MnI	-0.18	-0.09	+0.08
FeI	-0.18	-0.09	+0.07
FeII	0.00	-0.14	+0.09
CoI	-0.22	-0.09	+0.01
NiI	-0.20	-0.09	+0.03
CuI	-0.25	-0.10	+0.06
ZnI	-0.19	-0.13	+0.11
YII	-0.09	-0.13	+0.02
BaII	-0.17	-0.11	+0.26
NdII	-0.14	-0.13	+0.01
EuII	-0.10	-0.11	+0.02

ходимо сделать предположение о неоднородной концентрации пыли.

Несмотря на то, что ИК-цвета объекта подобны наблюдаемым у OH/IR-звезд, в радиоспектре QY Sge отсутствуют присущие этим объектам спектральные детали [34, 35], которые позволили бы определить системную скорость. В качестве первого приближения по имеющимся данным системную скорость может фиксировать узкий компонент эмиссии NaI. Можно предположить, что он формируется в периферийных областях оболочки с низкими градиентами скорости и потому

симметричен, лишен ветровых деформаций и стационарен. Но в этом случае становится затруднительным объяснение двух эффектов: изменения интенсивности узкого эмиссионного компонента на шкале года (рис. 5) и уменьшения этой интенсивности при удалении от центра изображения звезды, пропорционального ослаблению потока в континууме (рис. 4). В пределах точности измерений скорость по узкой эмиссии равна $V_r = -21.1$ км/с. Примем это значение в качестве первого приближения системной скорости V_{sys} . О том, что широкая эмиссия NaI излучается протяженной оболочкой, далеко выходящей за пределы тора, говорит как ослабление поляризации в эмиссии по сравнению с соседним континуумом [43], так и стационарность лучевой скорости, определяемой по основанию профиля. Средняя скорость $V_r = -32.4$ км/с по широкой эмиссии также стабильна в пределах ошибок. Если принять, что обе эмиссионные детали Na D формируются в околосредней оболочке, то можно говорить о ее неоднородности.

В рамках модели [5] остаются вопросы, касающиеся, во-первых, сосуществования эмиссий, различающихся по ширине на порядок, и, во-вторых, взаимного сдвига широкой и узкой эмиссионных компонент Na D.

Следует отметить, что предложенная в [5] модель системы QY Sge не является единственно возможной. Перечисленные особенности наблюдаемого оптического спектра могут быть объяснены и в рамках модели двойной системы без тора. В протяженной и неоднородной атмосфере сверхгиганта, истекающей за счет ветра, может сформироваться аналогичный набор спектральных деталей. Принимая модель оптически плотного тора, мы теряем возможность оценить расстояние до QY Sge стандартным спектрально-фотометрическим способом, но вместе с тем избавляемся от трудностей, возникающих при использовании этого способа. Вместо 9–36 кпк, найденных этим способом [4], можно ограничиться всего несколькими сотнями парсек [5].

5.3. О принадлежности QY Sge к звездам типа RV Tau

Авторы работы [5] на основании полученных параметров T_{eff} , $\lg g$ и детального химического состава склонны считать QY Sge звездой типа RV Tau. По этому признаку результаты из [5] использованы позже авторами [36], которые исследовали химический состав выборки пульсирующих звезд типа RV Tau. Действительно, по данным [5] химический состав QY Sge подобен распространенности элементов в атмосферах долгопериодических пульсирующих переменных. Дефицит металличности для этих объектов, как правило, невелик.

Учитывая, что частично этот дефицит обусловлен процессами селективной конденсации ядер металлов на пылевые частицы оболочки, можно считать, что металличность звезд типа RV Tau близка к металличности звезд диска Галактики. Как следует из сводки в табл. 9 из [36], для классических звезд типа RV Tau исходная (исправленная за эффект конденсации) металличность в среднем $[Fe/H]_{\odot} \approx -0.5$. Еще ближе к солнечному значению средняя “исправленная” металличность $[Fe/H]_{\odot} \approx -0.2$, полученная в работе [36] для выборки (в том числе и QY Sge) звезд с ИК-избытками, попадающих на диаграмме ИК-цветов в область звезд типа RV Tau.

Однако химический состав, подобный тому, который наблюдается у звезд типа RV Tau, не является уникальным. Среди исследованных post-AGB-сверхгигантов, не относящихся к типу RV Tau, встречается такого же типа распространенность химических элементов: слегка пониженная металличность, измененное содержание элементов CNO-группы и α -процесса, дефицит (крайне редко — избыток) тяжелых металлов. В качестве примера можно привести post-AGB-звезды HD 161796 и HD 331319 [37] или же HD 133656 [38]. Разнообразие особенностей химического состава у звезд типа RV Tau достаточно велико, поскольку эти особенности определяются как принадлежностью к подтипу населения в Галактике, так и исходной массой и дальнейшей эволюцией конкретной звезды. Ранее Уоллерстейн [39] также подчеркивал, что металличность (и особенности химического состава в целом) звезд типа RV Tau не является тем фундаментальным параметром, который позволяет отнести ту или иную звезду к этому типу. Таким образом, по параметру металличности и химического состава в целом мы не можем отнести QY Sge к звездам типа RV Tau.

Известно, что в атмосферах пульсирующих звезд распространяются ударные волны, основными спектральными индикаторами которых служат смещенная в коротковолновую область эмиссия в линиях водорода и асимметричные (или расщепленные) абсорбции металлов [40]. Иллюстрацией может служить спектр AC Her. В спектре же QY Sge, даже при разрешении $R = 60000$, мы этого не видим, что также ставит под сомнение гипотезу о принадлежности этой звезды к типу RV Tau. Следующим обстоятельством, не согласующимся с гипотезой о принадлежности QY Sge к звездам типа RV Tau, является то, что в спектрах этих звезд нет широких эмиссий D-линий NaI и KI.

5.4. О принадлежности QY Sge к звездам типа R CrB

Наличие широких эмиссионных компонентов у линий дублета натрия позволяет рассмотреть во-

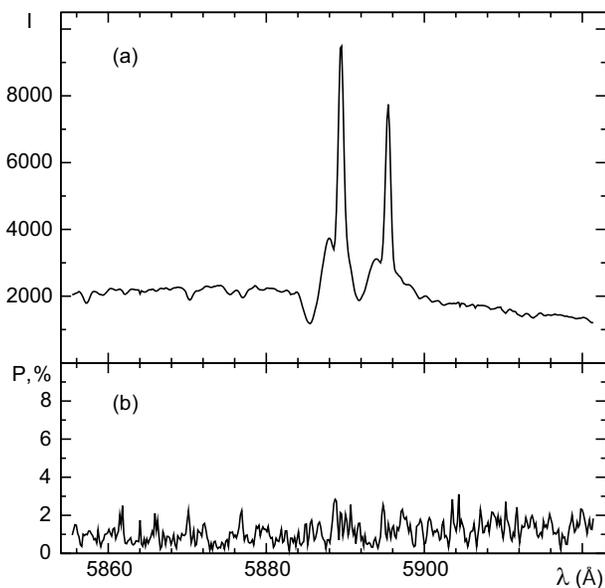


Рис. 8. Наблюдения R CrB в минимуме блеска [44]: (a) участок спектра в районе NaI D, (b) спектр поляризации P, % в том же интервале длин волн.

прос о включении QY Sge в малочисленную пока группу звезд с такого рода спектральной особенностью (типа R CrB и избранных post-AGB-звезд). Хорошим примером может служить звезда UW Cen, относящаяся к типу R CrB, в спектре которой в эпоху минимума блеска профиль D-линий NaI включает и широкий и узкий эмиссионные компоненты [19]. В спектре UW Cen [19] широкая эмиссия NaI, как и в спектре QY Sge, сдвинута относительно узкой в коротковолновую область. Известны и другие примеры: S Aps [20], V854 Cen [41], Z UMi [42]. Важным обстоятельством является то, что оба эти компонента наблюдаются только в минимуме блеска звезды, в максимуме они отсутствуют. Подчеркнем, что в спектре QY Sge эмиссии отмечены для всех моментов наблюдений в течение 6 лет, а глубоких минимумов блеска не зафиксировано (известно только о переменности блеска с малой амплитудой и с периодом около 50 суток [4]). Таким образом, для QY Sge нет пока указаний на основной признак звезд типа R CrB — спорадические выбросы пыли, приводящие к существенному снижению их видимого блеска. Вторым отличием является доплеровская ширина высокоскоростных эмиссионных компонентов дублета NaI. У звезд типа R CrB эти компоненты переменны и настолько широки, что взаимно перекрываются [21], чего нет в спектре QY Sge.

В-третьих, характер поляризации эмиссионных компонентов также различен. Как следует из спектрополяриметрических наблюдений [43], выполненных с разрешением не выше $R=1000$, в спектре QY Sge, в области дублета натрия, наблю-

дается снижение степени линейной поляризации до уровня межзвездной (при переходе от распределения энергии к распределению степени поляризации эмиссия обращается в абсорбцию). Подобное обращение указывает на то, что в случае QY Sge эмиссия NaI формируется вне среды, поляризующей излучение фотосферы. Иная картина наблюдается в случае R CrB. С помощью спектрополяриметра первичного фокуса БТА [44] нами были выполнены наблюдения с разрешением $R=15000$ этой звезды в состоянии, близком к минимуму блеска. На рис. 8 мы воспроизводим рисунок из [44], из которого следует, что широкие и узкие компоненты резонансного дублета NaI в спектре R CrB на зависимости степени поляризации от длины волны исчезли, и степень поляризации (1.5–2%) в области дублета такая же, как и в других участках спектра. Подчеркнем, что до наших наблюдений [44] было известно только о поляризационных характеристиках широких эмиссий, а узкие не наблюдались из-за недостаточного спектрального разрешения. Рис. 8 позволяет сделать вывод, что поляризующий фактор находится между наблюдателем и областями формирования спектров E2+BL (классификация спектров звезд типа R CrB по Клейтону [45]). Таким образом, и по спектрополяриметрическим характеристикам резонансного дублета натрия QY Sge отличается от R CrB. Кроме того, как было отмечено выше, линия H β в спектре QY Sge соответствует нормальному содержанию водорода (см. рис. 7), что также опровергает принадлежность звезды к типу R CrB.

5.5. Сравнение с V510 Pup

Сопоставим спектральные особенности QY Sge со спектром post-AGB-звезды V510 Pup (оптический компонент ИК-источника IRAS 08005-2356), в котором также была обнаружена эмиссия в Na D [46]. Наряду с этим сходством спектры QY Sge и V510 Pup имеют существенные различия, очевидно, обусловленные различиями структуры и геометрии систем. Как видно из рис. 4 и 5, эмиссия Na D в спектре QY Sge исключительно интенсивная, она превышает уровень континуума в 4–5 раз. В спектре V510 Pup интенсивность эмиссии не более 1.5 интенсивности в континууме. Это различие принципиально, т.к. его можно объяснить различной степенью экранирования излучения центральной звезды. В отличие от QY Sge, спектрополяриметрические наблюдения V510 Pup не показывают понижения степени поляризации в линиях Na D, по крайней мере в спектрах поляризации низкого разрешения [43].

Авторы [43] делают вывод о том, что бальмеровские эмиссии в спектре V510 Pup формируются

близко к звезде, до рассеяния на пылевом компоненте. Скорости, измеренные по эмиссиям NaI D и водородным линиям для V510 Pup, совпадают [46], поэтому предварительно можно считать, что эмиссия в Na D формируется тоже вблизи звезды. Такой же вывод можно сделать и для QY Sge: несмотря на то, что абсорбционный профиль H α почти полностью заполнен эмиссией, спектрополяриметрия не обнаруживает неполяризованного излучения в H α . Отметим также, что характер изменения степени поляризации в широком диапазоне длин волн также различен у этих звезд. У V510 Pup степень поляризации снижается с увеличением длины волны [43], что интерпретируется как преобладание рассеянного излучения в синей области спектра и частичная прозрачность в красных лучах диска (тора), экранирующего звезду. У QY Sge степень поляризации растет с ростом длины волны, что заставляет предполагать повышенную кратность рассеяния в синих лучах и непрозрачность диска в красных лучах [43]. В целом, выводы, полученные из картины поляризации, не противоречат результатам сопоставления интенсивности эмиссии Na D: в случае QY Sge мы, по-видимому, не наблюдаем звезду непосредственно, и вклад высокоскоростных компонентов оболочки преобладает. Отсутствие поляризации в линиях NaI в спектре V510 Pup можно интерпретировать как следствие низкого вклада эмиссии по сравнению с излучением фотосферы, не обнаружимого при спектрополяриметрии с низким спектральным разрешением. Следовательно, у QY Sge и V510 Pup области формирования эмиссии Na D могут иметь одинаковую геометрию, но из факта локализации бальмеровской эмиссии вблизи звезды V510 Pup не обязательно предполагать такую же локализацию эмиссии Na D.

Впрочем, следует признать, что наличие эмиссии в Na D не может служить указанием на принадлежность к какому-то определенному типу звезд или же к фиксированной стадии их эволюции. Напомним, что очень сильная и переменная во времени эмиссионная составляющая линий NaI D наблюдается в спектрах настолько различных звезд, как уникальная звезда FG Sge [47], потерявшая в ходе своей эволюции практически всю атмосферу, и V[e]-звезда CI Cam [48, 49], являющаяся оптическим компонентом рентгеновского транзиента. Скорее, наличие эмиссии в резонансных линиях указывает на существование газовой пылевой околозвездной среды с набором физических параметров в достаточно широком диапазоне значений. Однако в сочетании со спектрополяриметрическими наблюдениями, информация о высокоскоростных движениях в окрестности звезды, получаемая по резонансному дублету NaI D, помогает проверить предположения о геометрии системы.

6. ВЫВОДЫ

В результате многократных спектральных (разрешение $R=15000$ и 60000) наблюдений на 6-м телескопе желтого сверхгиганта QY Sge (ИК-источник IRAS 20056+1834) сделан вывод о переменной лучевых скоростей, измеренных по линиям, формирующимся в фотосфере. Выявлены дифференциальные сдвиги линий до 10 км/с.

В сложном эмиссионно-абсорбционном профиле линий NaI D постоянно присутствует очень широкий (простирается от -170 до $+120$ км/с) эмиссионный компонент. Широкая эмиссия в центральной части прорезана абсорбцией, которая разделена надвое перекрывающим ее узким (16 км/с на $r=2.5$) эмиссионным пиком. Положение эмиссионных деталей NaI D неизменно, что указывает на их формирование в областях, внешних по отношению к фотосфере сверхгиганта. Совокупность значений V_r позволяет рассматривать в качестве системной скорости величину $V_r=-21.1$ км/с, соответствующую положению узкого эмиссионного компонента NaI D.

Эмиссия в линии H α почти полностью заливает фотосферную абсорбцию.

Картина изменения профилей эмиссионных и абсорбционных линий и лучевых скоростей, измеренных по различным деталям профилей, согласуется с моделью тороидальной пылевой оболочки, закрывающей центральный источник, и биполярных конусов, заполненных высокоскоростным газом. Как в эмиссионных, так и в абсорбционных деталях спектра выявлены детали, свидетельствующие о пространственных и временных неоднородностях в пылевом и газовом компонентах объекта.

Абсорбционные линии в спектре QY Sge имеют значительную ширину $FWHM \approx 45$ км/с, что очень затрудняет анализ химического состава. Методом моделей атмосфер определены параметры: эффективная температура $T_{eff}=6250 \pm 150$ К, ускорение силы тяжести $lg g=2.0 \pm 0.2$ и микротурбулентная скорость $\xi_t=4.5 \pm 0.5$ км/с. Химический состав атмосферы звезды незначительно отличается от солнечного: обнаружена несколько повышенная металличность, средний избыток элементов железного пика V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu и Zn составляет $[Met/H]_{\odot}=+0.20$. Получены слабые избытки содержания углерода и азота: $[C/Fe]=+0.25$, $[N/Fe]=+0.27$, при этом отношение C/N близко к солнечному. Элементы α -процесса Mg, Si и Ca имеют небольшой избыток, в среднем $[\alpha/H]_{\odot}=+0.12$, избыток серы выше, $[S/\alpha]=+0.29$. Выявлен большой избыток натрия,

$[Na/H]_{\odot} = +0.75$, что, вероятно, является следствием выноса в атмосферу вещества, переработанного в NeNa-цикле. Содержание тяжелых элементов s -процесса понижено относительно солнечного.

В целом, наблюдаемые свойства QY Sge пока не дают оснований для отнесения этой звезды к звездам типа R CrB или RV Tau. Помимо очевидной необходимости продолжить и сделать более регулярной спектроскопию QY Sge, отметим несколько особенно важных аспектов:

- при уже достигнутом спектральном разрешении необходимо существенно повысить отношение сигнал/шум, чтобы более надежно прорисовывать детали сложных и изменчивых профилей абсорбционных линий;
- желательно привлечь спектрополяризметрию высокого разрешения, которая помогла бы, в частности, уточнить области формирования отдельных составляющих эмиссионно-абсорбционных линий NaI D и др.;
- исключительно ценную информацию о геометрии и кинематике системы дали бы спектры, полученные (при высоком угловом разрешении) от достаточно ярких периферических участков пылевой оболочки, позволяющие, “приблизившись” к объекту, увидеть его центральную часть под разными углами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН “Наблюдаемые проявления эволюции химического состава звезд и Галактики”, программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН “Протяженные объекты во Вселенной” и Американского фонда гражданских исследований (CRDF, проект RUP1-2687-NA-05). Работа поддержана РФФИ (проект 07-02-00247). Мы использовали базы данных SIMBAD, VALD и интерактивный атлас неба ALADIN Страсбургского центра астрономических данных CDS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П. Н. Холопов, Н. Н. Самусь, М. С. Фролов и др., *Общий Каталог переменных звезд*, Редакция 4.1. <http://www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs> (1998).
2. T. M. Gledhill, A. Chrysostomou, J. H. Hough, and J. A. Yates, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **322**, 321 (2001).
3. T. M. Gledhill, I. Bains, and J. A. Yates, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **332**, L55 (2002).
4. J. W. Menzies and P. A. Whitelock, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **233**, 697 (1988).
5. N. Kameswara Rao, A. Goswami, and D. L. Lambert, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **334**, 129 (2002).
6. V. E. Panchuk, J. D. Najdenov, V. G. Klochkova, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, **44**, 127 (1998).
7. В. Е. Панчук, В. Г. Клочкова, И. Д. Найденев, Препринт САО No. 135, (1999).
8. В. Г. Клочкова, С. В. Ермаков, В. Е. Панчук и др., Препринт САО №. 137, (1999).
9. В. Е. Панчук, М. В. Юшкин, И. Д. Найденев, Препринт САО №. 179, (2003).
10. В. Е. Панчук, Н. Е. Пискунов, В. Г. Клочкова и др., Препринт САО №. 169, (2002).
11. А. А. Иванов, В. Е. Панчук, В. С. Шергин, Препринт САО №. 155, (2001).
12. М. В. Юшкин, В. Г. Клочкова, Препринт САО №. 206, (2005).
13. Г. А. Галазутдинов, Препринт САО №. 92, (1992).
14. A. K. Pierce and J. B. Breckinridge, *Contrib. Kitt Peak Obs.*, № 559, (1973).
15. J. van Blerkom and D. van Blerkom, *Astrophys. J.* **225**, 482 (1978).
16. G. Wallerstein, *Astrophys. J.* **211**, 170 (1977).
17. L. B. F. M. Waters, C. Waelkens, M. Mayor, and N. R. Trams, *Astronom. and Astrophys.* **269**, 242 (1993).
18. E. J. Bakker, F. L. A. van der Wolf, H. J. G. L. Lamers, et al., *Astronom. and Astrophys.* **306**, 924 (1996).
19. N. Kameswara Rao, B. E. Reddy, and D. L. Lambert, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **355**, 855 (2004).
20. A. Goswami, N. Kameswara Rao, D. L. Lambert, and V. V. Smith, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **109**, 270 (1997).
21. N. Kameswara Rao, D. L. Lambert, and M. D. Shetrone, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **370**, 941 (2006).
22. T. Kipper and V. Klochkova, *IBVS*, № 4346, 1 (1996).
23. C. S. Beals, *Pub. Dom. Ap. Obs. Victoria*, **9**, 1, (1950).
24. J. Brand and L. Blitz, *Astronom. and Astrophys.* **275**, 67 (1993).
25. В. Г. Клочкова, Р. Шерба, В. Е. Панчук, *Pis'ma Astronom. Zh.* **26**, 510 (2000).
26. В. Е. Панчук, В. Г. Клочкова, М. В. Юшкин, А. С. Мирошниченко, *Astronom. Zh.* **81**, 319 (2004).
27. R. L. Kurucz, CD-ROM No. 23 (Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA, 1993).
28. N. E. Piskunov, F. Kupka, and T. A. Ryabchikova, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **112**, 525 (1995).
29. Л. С. Любимков, “Химический состав звезд: методы и результаты анализа” (Одесса, Астропринт, 1995).
30. D. Shulyak, V. Tymbal, T. Ryabchikova, et al., *Astronom. and Astrophys.* **428**, 993 (2004).
31. N. Grevesse, A. Noels, and A. J. Sauval, *ASP Conf. Ser.* **99**, 117, (1996).

32. Л. И. Машонкина, В. В. Шиманский, Н. А. Сахибуллин, *Astronom. Zh.* **77**, 893 (2000).
33. H. van Winckel, C. Waelkens, L. B. F. M. Waters, et al., *Astronom. and Astrophys.* **336**, L17 (1998).
34. A. M. Le Squeren, P. Sivagnanam, M. Dennefeld, and P. David, *Astronom. and Astrophys.* **254**, 133 (1992).
35. B. M. Lewis, J. Eder, and Y. Terzian, *Astronom. J.* **94**, 1025 (1987).
36. T. Maas, H. van Winckel, and T. Lloyd Evans, *Astronom. and Astrophys.* **429**, 297 (2005).
37. В. Г. Клочкова, В. Е. Панчук, Н. С. Таволжанская, *Пис'ма Astronom. Zh.* **28**, 56 (2002).
38. H. van Winckel, R. D. Oudmaijer, and N. R. Trams, *Astronom. and Astrophys.* **312**, 553 (1996).
39. G. Wallerstein, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **114**, 689 (2002).
40. D. Gillet, G. Burki, and A. Duguennoy, *Astronom. and Astrophys.* **237**, 159 (1990).
41. N. Kameswara Rao and D. L. Lambert, *Astronom. J.* **105**, 1915 (1993).
42. A. Goswami, N. Kameswara Rao, and D. L. Lambert, *The Observatory*, **119**, 22 (1999).
43. S. Trammell, H. L. Dinerstein, and R. W. Goodrich, *Astronom. J.* **108**, 984 (1994).
44. В. Е. Панчук, В. Г. Клочкова, М. В. Юшкин и др., 2001, Препринт САО №. 159, (2001).
45. G. C. Clayton, *Publ. Astronom. Soc. Pacific* **108**, 225 (1996).
46. В. Г. Клочкова, Е. Л. Ченцов, *Astronom. Zh.* **81**, 333 (2004).
47. T. Kipper, M. Kipper, and V. G. Klochkova, *Astronom. and Astrophys.* **297**, L33 (1995).
48. A. S. Miroshnichenko, V. G. Klochkova, K. S. Bjorkman, and V. E. Panchuk, *Astronom. and Astrophys.* **390**, 627 (2002).
49. R. I. Hynes, J. S. Clark, E. A. Barsukova, et al., *Astronom. and Astrophys.* **392**, 991 (2002).

THE EVOLUTIONARY STATUS OF THE SEMIREGULAR VARIABLE QY Sge

V. G. Klochkova, V. E. Panchuk, E. L. Chentsov and M. V. Yushkin

Repeated spectral observations at the 6 m telescope ($R=15000$ and 60000) permit us to obtain new data about the variability of radial velocities of a peculiar yellow supergiant QY Sge. The most intensive and peculiar spectral feature is a complex profile of the NaI D lines, which contain sharp and very broad emission components. Broad emission is observed from -170 to $+120$ km/s, the central part is cutted by absorption, which in return divided by sharp (16 km/s at $r = 2.5$) emission peak. An analyses of all V_r values allows us to consider as a systemic velocity the $V_r = -21.1$ km/s from sharp NaI D emission. The position of NaI D emissions is non-alternating in time what indicates on their formation in regions outer relatively to supergiant's photosphere. The differential shifts about 10 km/s are revealed. The emission in $H\alpha$ is weaker than in the NaI D lines, it is practically entirely fills up the photospheric absorption. Absorptional lines in the QY Sge spectrum are of essential width $FWHM \approx 45$ km/s. The following parameters: effective temperature $T_{eff} = 6250 \pm 150$ K, surface gravity $\log g = 2.0 \pm 0.2$, and microturbulent velocity $\xi_t = 4.5 \pm 0.5$ km/s, are determined by the model atmospheres method. The chemical composition is not far from the solar one: the star's metallicity is lightly increased, the averaged excess of iron group elements is equal to $[Met/H]_{\odot} = +0.20$. The slight overabundances both of carbon and nitrogen $[C/Fe] = +0.25$, $[N/Fe] = +0.27$ are obtained. The α -process elements Mg, Si, Ca are slightly enhanced $[\alpha/H]_{\odot} = +0.12$, the sulphur excess is higher $[S/\alpha] = +0.29$. The large sodium excess $[Na/Fe] = +0.75$ can be probably considered as a consequence of the dredge-up the matter produced in Ne-Na-cycle. The heavy s -process metals are found to be deficient. The entire set parameters observed for QY Sge do not give us a base to classify the star as a star of neither R CrB nor RV Tau type.