

УДК 524.33/35-75:523.15

## НОВЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ POST-AGB ЗВЕЗДЫ V354 Lac = IRAS 22272+5435

© 2009 В. Г. Клочкова, В. Е. Панчук, Н. С. Таволжанская

*Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия*

Поступила в редакцию 13 октября 2008 г.; принята в печать 5 февраля 2009 г.

По оптическим спектрам post-AGB звезды V354 Lac, полученным с высоким спектральным разрешением на 6-м телескопе в 2007–2008 г.г., обнаружено расщепление самых сильных абсорбций, имеющих потенциалы возбуждения нижнего уровня  $\chi_{\text{low}} < 1$  эВ. Определены основные параметры ( $T_{\text{eff}}=5650$  K,  $\log g=0.2$ ,  $\xi_t=5.0$  км/с) и содержание 22 химических элементов в атмосфере звезды. Сверхизбытки содержания химических элементов s-процесса (Ba, La, Ce, Nd) в атмосфере звезды частично обусловлены расщеплением сильных линий ионов этих металлов. Особенности спектра в интервале, содержащем линию LiI  $\lambda 6707$  Å, получили естественное объяснение при учете только избытка ионов тяжелых металлов CeII, SmII. Наилучшее согласие наблюдений с синтетическим спектром достигнуто при  $\varepsilon(\text{LiI})=2.0$ ,  $\varepsilon(\text{CeII})=3.2$ ,  $\varepsilon(\text{SmII})=2.7$ . Поле скоростей в атмосфере и околозвездной оболочке V354 Lac остается стационарным в последние 15 лет наших наблюдений.

Ключевые слова: *звезды — переменные и пекулярные*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Инфракрасный источник IRAS 22272+5435, отождествляемый с холодной переменной звездой V354 Lac = HD 235858 (Sp = G5 Iap [1]), является одним из наиболее интересных объектов среди кандидатов в протопланетарные туманности (PPN). Среди родственных объектов звезда V354 Lac выделяется значительной фотометрической переменностью: для 2-х моментов наблюдений блеск в фильтре В различался на  $0.72^m$ , в фильтре V на  $0.84^m$  [2]. Распределение энергии V354 Lac имеет типичный для PPN двухпиковый характер. Причем для этого объекта полная энергия, излучаемая звездой в видимом диапазоне длин волн и околозвездной оболочкой в ИК-диапазоне, практически одинаковы [2, Рис. 4].

На кратковременной эволюционной стадии PPN наблюдаются звезды промежуточных масс, которые эволюционируют от стадии асимптотической ветви гигантов (AGB) к стадии планетарной туманности. Исходная масса этих звезд находится в интервале 3–8  $M_{\odot}$ . Детально эволюция звезд промежуточных масс представлена, например, в работе [3]. Мы напомним только основные моменты этого процесса. Пройдя последовательные стадии эволюции с горением водорода и гелия в ядре, на стадии AGB эти звезды испытали большую потерю вещества в виде мощного звездного ветра (темп потери массы до  $10^{-4} M_{\odot}$  в год). Вследствие потери большей части массы, остаток звезды

представляет собой вырожденное углеродно-кислородное ядро с типичной массой около  $0.6 M_{\odot}$ , окруженное расширяющейся газопылевой оболочкой. Интерес к PPN обусловлен, во-первых, возможностью изучать историю потери вещества за счет звездного ветра, а во-вторых, уникальной возможностью наблюдать результат звездного нуклеосинтеза, процессов перемешивания и выноса в поверхностные слои продуктов ядерных реакций в предшествующих стадиях эволюции звезды.

Наблюдаемая у нескольких PPN вековая переменность основных параметров стимулирует проведение спектрального мониторинга наиболее вероятных PPN-кандидатов. Например, обнаружена спектральная переменность оптических компонентов источников IRAS 01005 + 7910 [4], IRAS 05040 + 4820 [5], IRAS 20572 + 4919 [6] и найден тренд эффективной температуры  $T_{\text{eff}}$  у звезды HD 161796 = IRAS 17436 + 5003 [7]. Здесь уместно вспомнить и о наблюдаемой уже более столетия эволюции параметров и химического состава знаменитой далеко проэволюционировавшей звезды FG Sge (см. обзор [8] и ссылки в нем). В данной статье мы представляем результаты наблюдений V354 Lac с высоким спектральным разрешением для эпохи 2007–2008 г.г. и сопоставляем новые данные с ранее опубликованными. Основная цель работы — выявление вероятной спектральной переменности звезды, изучение поля скоростей в атмосфере и оболочке звезды,

определение фундаментальных параметров для данной эпохи. В разделе 2 кратко описаны методы наблюдений и редукции данных, в разделе 3 рассмотрены полученные результаты, в разделе 4 кратко суммированы основные выводы.

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ

Новые спектральные данные для V354 Lac получены нами в фокусе Нэсмита 6-метрового телескопа БТА Специальной Астрофизической Обсерватории РАН с эшелльным спектрографом НЭС [9]. Наблюдения выполнены с использованием ПЗС-матрицы 2048 × 2048 элементов и с резателем изображений [9]. Спектральное разрешение составляет  $R \geq 50000$ . Первый спектр (JD = 2454170.58) зарегистрирован в интервале длин волн 4514 – 5940 Å, два последующих (JD = 2454225.51 и 2454727.35) в более длинноволновом интервале 5215–6690 и 5260–6760 Å соответственно. Экстракция одномерных векторов из двумерных эшелле-спектров выполнена с помощью модифицированного [10] контекста ECHELLE комплекса программ MIDAS. Удаление следов космических частиц проводилось медианным усреднением двух спектров, полученных последовательно один за другим. Калибровка по длинам волн осуществлялась с использованием спектров Th-Ag лампы с полым катодом. Полученные по этим спектрам и приводимые ниже в Табл. 1 гелиоцентрические лучевые скорости  $V_{\odot}$  найдены путем совмещения прямых и зеркальных изображений профилей линий [11]. Контроль и коррекция инструментального рассогласования спектров звезды и лампы с полым катодом выполнены по теллурическим линиям O<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, остаточные систематические ошибки не превышают ошибок измерения (около 1 км/с по одной линии).

## 3. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

### 3.1. Пекулярность спектра

Основные особенности оптического спектра V354 Lac были отмечены уже в первых работах с низким спектральным разрешением. Авторы [1, 2] обнаружили, что, по сравнению со спектром нормального сверхгиганта близкой температуры, в спектре V354 Lac ослаблена линия H $\delta$ , усилены линии BaII, а также наблюдаются абсорбционные полосы молекул CN, C<sub>2</sub> и C<sub>3</sub>. Большая часть перечисленных особенностей наблюдается и в наших спектрах 2007–2008 г.г. На Рис. 1 приведен фрагмент спектра с колебательной полосой системы Свана C<sub>2</sub> (0;0), кант которой приходится

на длину волны  $\lambda 5165.2$  Å. Здесь отмечены линии вращательных переходов, по которым мы определили скорость расширения оболочки (подробнее см. ниже, разд. 3.2). Низковозбужденные линии BaII являются самыми сильными абсорбциями в спектре V354 Lac. Полная эквивалентная ширина  $W_{\lambda}$  каждой из линий BaII  $\lambda 6141$  и  $6496$  Å превышает 0.9 Å. Абсорбции ионов других элементов s-процесса (La, Ce) столь же сильны, их  $W_{\lambda} > 0.3$  Å.

Профиль линии H $\alpha$  состоит из абсорбционной компоненты с узким ядром и широкими крыльями (на Рис. 2 приведен профиль для даты JD=2454225.5). Однако мы не нашли ослабления этой линии, что ожидалось в соответствии с работами [1, 2]. Как видно на Рис. 3, наблюдаемый профиль линии H $\alpha$  в спектре V354 Lac хорошо согласуется с теоретическим. Это дает основание говорить о формировании линии в атмосфере звезды и незначительном вкладе оболочки. При этом положение ядра линий H $\alpha$  и H $\beta$  на 2–4 км/с отличается от скорости, измеренной по фотосферным линиям металлов.

Высокое спектральное разрешение позволило нам обнаружить и еще одну, ранее не отмеченную, особенность оптического спектра V354 Lac — расщепление ядер самых сильных абсорбций ионов тяжелых металлов. Это расщепление хорошо видно на Рис. 4 на профиле линии BaII  $\lambda 6141$  Å, эквивалентная ширина которой составляет  $W_{\lambda} \approx 1$  Å. Подобное расщепление (или же асимметрия профиля из-за более пологого коротковолнового крыла) наблюдается и для других линий BaII ( $\lambda 5853$  и  $6496$  Å), а также для линий YII  $\lambda 5402$  Å, LaII  $\lambda 6390$  Å, NdII  $\lambda 5234, 5293$  Å. В частности, асимметрия хорошо видна на профиле линии BaII  $\lambda 5853$  Å (Рис. 5).

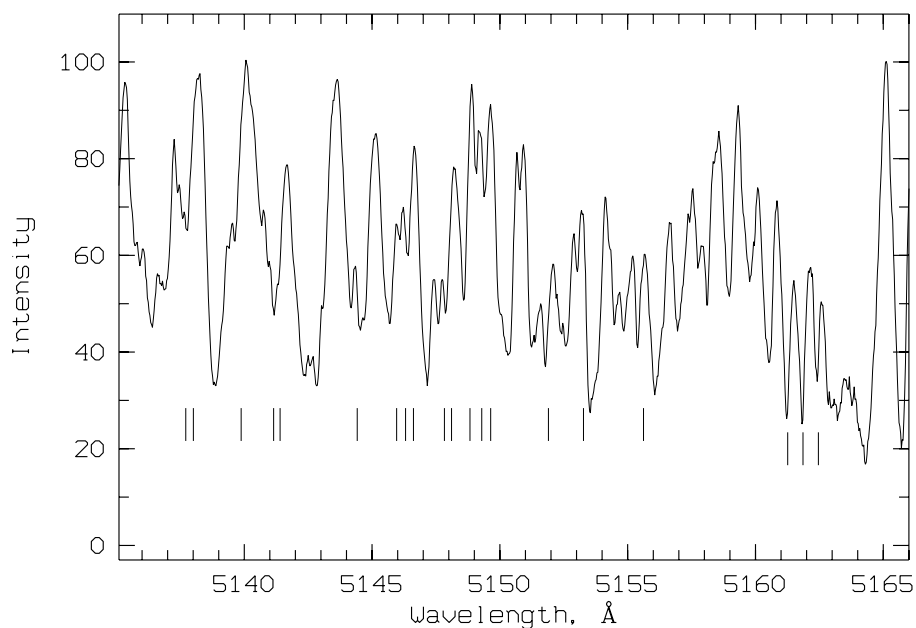
Сопоставление спектров, которые мы получили в разные даты с одинаковым спектральным разрешением, позволяет говорить о небольшом различии профилей абсорбций. Для иллюстрации переменности профилей сильных линий на Рис. 5 приведен фрагмент спектра, содержащий линию бария BaII  $5853$  Å для трех дат наблюдений.

### 3.2. Лучевые скорости

*Линии металлов.* Для определения средней лучевой скорости  $V_{\odot}$  мы провели измерения положений большого набора (около 300) линий поглощения, минимально блендированных в спектрах V354 Lac. Отбор линий проводился с привлечением спектрального атласа для post-AGB звезды HD 56126, которую можно рассматривать в

**Таблица 1.** Лучевая скорость  $V_{\odot}$  для трех моментов наблюдений в 2007–2008 г.г. В первой строке приведена лучевая скорость по спектру, полученному на БТА со спектрографом Рысь [15],  $R=25000$ . В скобках указано число спектральных деталей, измеренных для определения средней величины. В последней строке приведены данные Редди и др. [16].

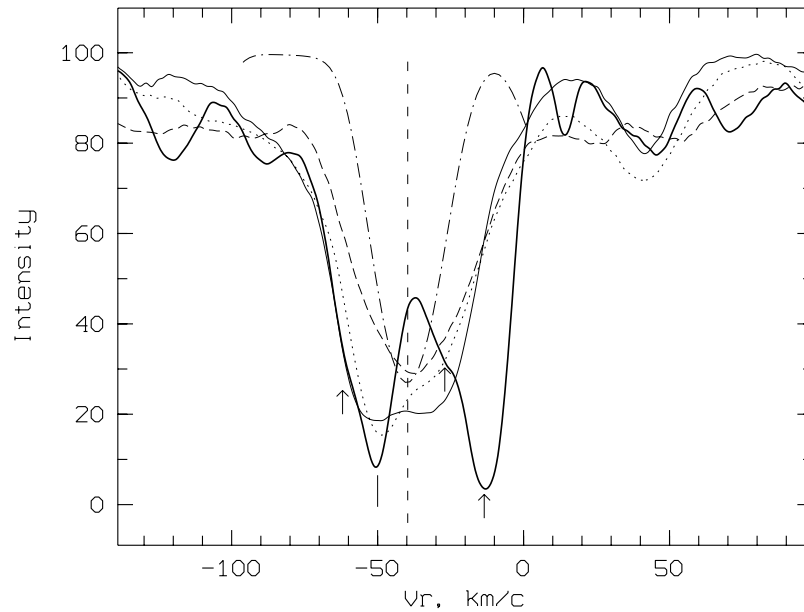
JD=24...	$V_{\odot}$ , км/с					DBs
	металлы	H $\alpha$	D1,2 NaI		C $_2$	
			blue	red		
48850.51	–38.2	–41.1 H $\alpha$	–50.2	–13.2	–50.5(8)	–52:(5)
54170.58	–40.1	–45.1 H $\beta$	–50.6	–14.4	–50.1(21)	
54225.51	–38.4	–37.2 H $\alpha$	–51.1	–13.4		
54727.35	–38.0	–34.6 H $\alpha$	–51.6	–14.0		
20.08.2000	–42.4 [16]					



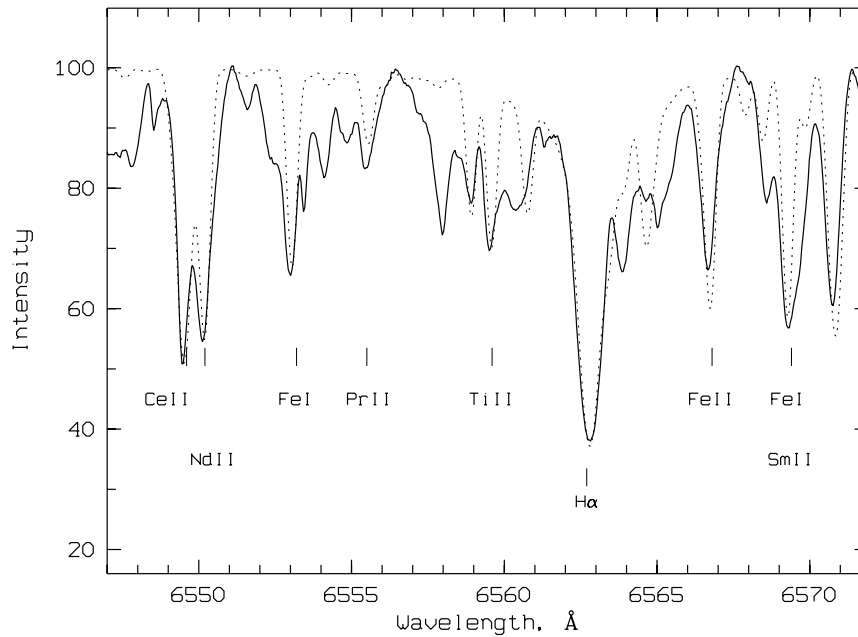
**Рис. 1.** Полоса Свана молекулы C $_2$  (0;0) с кантом на  $\lambda$  5165 Å в спектре V354 Lac, полученном в момент JD=2454170.6. Вертикальными штрихами отмечены линии вращательных переходов этой полосы, использованные для определения скорости расширения оболочки.

качестве канонического объекта на стадии post-AGB [12]. Атлас изготовлен Клочковой и др. [13] по эшелювым спектрам, полученным с тем же спектрографом НЭС 6 м телескопа. По сравнению со спектром HD 56126 уровень блендирования в спектре V354 Lac выше из-за более позднего спектрального класса звезды (эффективная температура HD 56126  $T_{eff} = 7000$  К [14]), а также из-за расщепления и асимметрии многих линий. Из-за повышенного блендирования и асимметрии линий точность измерения  $V_{\odot}$  по одной линии

(среднеквадратичное уклонение  $\sigma$ ) по нашим спектрам 2007–2008 г.г. составляет около 2 км/с. Результаты измерений лучевой скорости V354 Lac по набору спектральных деталей приведены в Табл. 1. Здесь, во 2-м столбце, дана средняя величина скорости  $V_{\odot}(\text{Met})$  по линиям металлов. В последующих столбцах приведена скорость по линиям нейтрального водорода H $\alpha$  или H $\beta$ , по коротковолновому (blue) и длинноволновому (red) компонентам D-линий дублета NaI, по вращательным линиям полос Свана молекулы C $_2$  и деталям,



**Рис. 2.** Профили избранных линий в спектре V354 Lac: толстая линия — D1 Na, тонкая сплошная, штрих-пунктирная и пунктирная — Ba II  $\lambda$  6141 Å для трех дат наблюдений, штриховая — H $\alpha$ . Вертикальной штриховой линией указана системная скорость, стрелками — межзвездные компоненты, вертикальной чертой — околозвездный компонент линии D1.



**Рис. 3.** Фрагмент спектра V354 Lac в области H $\alpha$ . Пунктиром нанесен теоретический спектр, рассчитанный с  $T_{eff} = 5650$  K,  $\log g = 0.2$ ,  $\xi_t = 5.0$  км/сек. Содержания химических элементов из Табл. 2. Теллурический спектр не вычтен.

отождествленным с диффузными полосами DBs. В Табл. 1 к данным по спектрам 2007–2008 г.г. добавлены результаты наших измерений  $V_{\odot}$  по спектру, полученному ранее на БТА с эшелле спектрографом Рысь [15] с разрешением  $R=25000$ . В

последней строке приведена средняя величина  $V_{\odot}$  из работы [16]. Как следует из продолжительных наблюдений Хривнака [17], амплитуда и период переменности лучевой скорости V354 Lac типичны для PPN: лучевая скорость меняется в пределах

**Таблица 2.** Содержания химических элементов  $\varepsilon(X)$  в атмосфере V354 Lac. Здесь  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение,  $n$  — число использованных в расчете линий. Химический состав атмосферы Солнца согласно [30].

Солнце		V354 Lac				
X	$\varepsilon(X)$	$\varepsilon(X)$	$\sigma$	n	[X/Fe]	[X/Fe]*
LiI	3.31**	2.00***				
Cl	8.39	9.08	0.22	7	+1.40	+0.98
OI	8.66	8.98	0.15	4	+1.03	+0.50
NaI	6.17	6.11	0.26	3	+0.65	+0.30
MgI	7.53	7.23	0.01	3	+0.41	
SiI	7.51	7.24	0.22	9	+0.44	+0.15
SiII		7.26		2	+0.46	
SI	7.11	7.17	0.25	3	+0.77	+0.15
CaI	6.31	5.60	0.16	13	+0.00	+0.05
ScII	3.05	2.93	0.16	8	+0.59	
TiI	4.90	5.24	0.30	12	+1.05	+0.37
CrI	5.64	5.13	0.25	7	+0.20	+0.27
CrII		5.14	0.23	7	+0.21	
MnI	5.39	4.46	0.18	7	-0.22	+0.22
FeI	7.45	6.77	0.26	78	+0.03	0.00
FeII		6.71	0.09	9	-0.03	0.00
NiI	6.23	5.59	0.27	8	+0.07	
NiII						+0.02
YII		3.50		2	+2.00	+1.81
ZrI	2.59	3.64	0.44	3	+1.76	
ZrII		3.32		1	+1.44	+1.31
BaII	2.17	4.22	0.10	3	+2.76	
LaII	1.13	3.32	0.31	6	+2.90	+2.27
CeII	1.58	3.09	0.19	4	+2.22	+2.03
PrII	0.71	2.48		1	+2.48	+1.71
NdII	1.45	2.99	0.20	7	+2.25	+2.11
EuII	0.52	1.40	0.28	3	+1.59	

\* данные из [16]

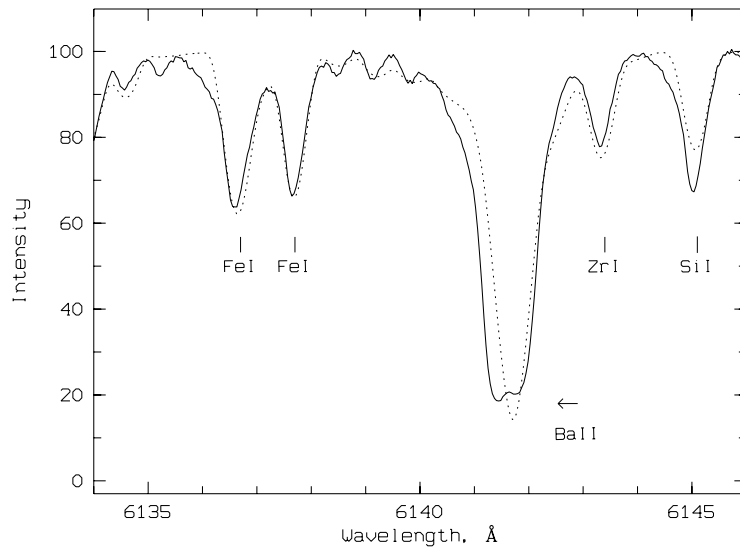
\*\* для метеоритов [30]

\*\*\* результат спектрального синтеза

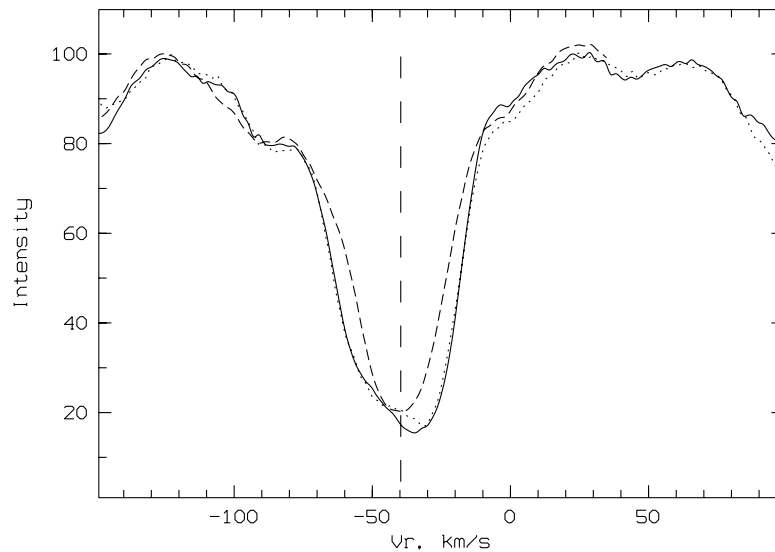
от  $-34$  до  $-41$  км/с с периодом  $127^d$ . Все средние величины  $V_{\odot}$  по абсорбциям металлов из Табл. 1 лежат в более узких границах: от  $-38$  до  $-42$  км/с.

**Молекулярный спектр.** Присутствие газопылевой оболочки вокруг центральной звезды PPN проявляется, помимо ИК-избытка и покраснения, в деталях оптических спектров. Поскольку молекулярные полосы могут формироваться в атмосфере звезды с температурой  $T_{eff} \leq 3000$  К, очевидно, что в случае звезды спектрального класса G5 областью их формирования является околос звездная оболочка. В зарегистрированных нами спектрах V354 Lac наблюдаются колебательные полосы системы Свана молекулы  $C_2$ . Хорошее спектральное разрешение позволяет достаточно точно измерить положение вращательных линий полосы (0;0). Используя длины волн вращательных линий из электронных таблиц к статье Бэккера и др. [18], мы измерили положение 21 вращательной линии полосы Свана (0;0) и определили среднюю лучевую скорость в области формирования полосы  $V_{\odot}(0;0) = -50.1 \pm 0.2$  км/с. Благодаря узкому по сравнению с фотосферными линиями профилю, вращательные линии полосы Свана (0;0) легко выделяются в спектре (Рис. 1). Поэтому точность измерения положения одной линии около 0.8 км/с, что существенно лучше, чем по фотосферным абсорбциям. Полоса Свана (1;0) в коротковолновой области спектра 4712–4734 Å сильно блендирована фотосферными линиями, поэтому точность измерений существенно ниже:  $V_{\odot}(1;0) = -50.5 \pm 1.0$  км/с.

Смещение околос звездных деталей относительно системной скорости позволяет определить скорость расширения соответствующих областей оболочки. Системная скорость источника IRAS 22272+5435  $V_{lsr} = -27.5$  км/с определена как скорость центра эмиссионного профиля CO(1–0) [19], гелиоцентрическая системная скорость  $V_{\odot}^{sys} = -39.7$  км/с. В отличие от эмиссионных линий CO, формирующихся в протяженной оболочке, расширяющейся во всех направлениях, наблюдаемые абсорбционные линии молекулярного углерода формируются в той части оболочки, которая расположена между звездой и наблюдателем. В итоге, получаем скорость расширения оболочки (области формирования полос Свана)  $V_{exp} = 10.8$  км/с. Эта величина, которую можно рассматривать как скорость расширения оболочки по оптическим спектрам, хорошо согласуется со скоростью расширения для источника IRAS 22272+5435,  $V_{exp} = 10.6 \pm 1.1$  км/с из каталога [20], где собраны многочисленные наблюдения околос звездных оболочек в полосах молекул CO, HCN. Отметим также, что скорость



**Рис. 4.** Фрагмент спектра V354 Lac. Отмечены линии Fe I  $\lambda$  6136.7, Fe I  $\lambda$  6137.7, Ba II  $\lambda$  6141.7, Zr I  $\lambda$  6143.4, и Si I  $\lambda$  6145.1 Å. Пунктиром нанесен теоретический спектр, рассчитанный с  $T_{eff} = 5650$  K,  $\log g = 0.2$ ,  $\xi_t = 5.0$  км/сек и содержанием  $\epsilon(\text{Ba}) = 3.94$ .



**Рис. 5.** Профиль линии Ba II 5853 Å в спектрах V354 Lac, полученных в разные даты: сплошная линия — JD=2454170.6; пунктир — JD=2454225.5, прерывистая — JD=2454727.4. Вертикальной штриховой линией нанесена системная скорость.

расширения оболочки в случае IRAS 22272+5435 имеет величину, типичную для околозвездных оболочек post-AGB звезд (см., например, [20]).

Гелиоцентрическая скорость звезды по линиям металлов хорошо согласуется с системной скоростью  $V_{\odot}^{sys} = -39.7$  км/с. Это совпадение указывает на отсутствие в системе источника IRAS 22272+5435 вторичного компонента или же,

что точнее, об отсутствии вторичного компонента со звездной массой. Это — нетривиальный результат, поскольку химическая эволюция, перемешивание и вынос продуктов ядерных реакций в поверхностные слои атмосферы звезды, истечение вещества, формирование оболочки в присутствии вторичного компаньона могут протекать иначе.

Учитывая карты CO-скоростей в Галакти-

ке [21], галактические координаты ( $l = 103.3^\circ$ ,  $b = -2.51^\circ$ ) и системную скорость источника IRAS 22272+5435,  $V_{\text{lsr}} = -27.5$  км/с, можем предположить, что источник располагается между местным рукавом и рукавом Персея.

*D-линии NaI.* Линии резонансного дублета натрия NaI в спектре V354 Lac имеют сложную структуру. Как следует из Табл. 1 и Рис. 2, где приведен профиль линии D1, линии дублета содержат два сильных абсорбционных компонента, положение которых соответствует скоростям  $V_{\odot} = -50$  и  $-13$  км/с. Очевидно, что линия с  $V_{\odot} = -50$  км/с формируется в околозвездной оболочке, где формируются и оболочечные полосы Свана молекулы  $\text{C}_2$ . Второй компонент с  $V_{\odot} \approx -13$  км/с ( $V_{\text{lsr}} \approx -27$  км/с) является межзвездным. Присутствие этого межзвездного компонента  $V_{\text{lsr}} \approx -27$  км/с подтверждает наше предположение о том, что V354 Lac располагается в Галактике дальше местного рукава.

Как следует из Рис. 2, коротковолновые крылья основных абсорбций NaI могут свидетельствовать о присутствии компонентов, плохо разрешаемых на наших спектрах:  $V_{\odot} \approx -57$  км/с ( $V_{\text{lsr}} \approx -70$  км/с) и  $V_{\odot} \approx -24$  км/с ( $V_{\text{lsr}} \approx -37$  км/с).

Согласно [22], в местном спиральном рукаве Галактики лучевая скорость составляет  $V_{\text{lsr}} \approx -10$  км/с, а в рукаве Персея  $V_{\text{lsr}} \approx -55$  км/с. Таким образом, расстояние до рукава Персея,  $d = 3.6$  кпк [23], можно рассматривать в качестве верхней оценки удаленности источника. Моделирование полного потока в системе IRAS 22272+5435, выполненное в работе [20], позволило оценить расстояние до источника  $d = 2.35$  кпк.

*Диффузные межзвездные полосы.* V354 Lac входит в подгруппу PPN, у которых околозвездное покраснение вносит доминирующий вклад в избыток цвета [24]. Это обстоятельство стимулирует поиск в спектре этой звезды околозвездных полос (DBs) — аналогов диффузных межзвездных полос (DIBs). Отождествление DIBs и DBs в случае холодной звезды является сложной задачей из-за их блендирования звездными линиями. Мы предприняли поиск DBs в более длинноволновом спектре, полученном в дату JD = 2454225.51. Используя длины волн DIBs из электронного Приложения к каталогу [25], мы нашли в этом спектре V354 Lac несколько деталей, которые можно было бы отождествить с околозвездными полосами (DBs). К сожалению, оказалось затруднительным измерение положения полосы на длине волны  $\lambda 6613.62 \text{ \AA}$  — в спектре V354 Lac эта полоса попадает в крыло сильной линии YII  $\lambda 6613.73 \text{ \AA}$ .

По 5-ти наиболее уверенно измеренным деталям ( $\lambda = 5705, 5797, 6195, 6203, 6269 \text{ \AA}$ ) средняя скорость  $V_{\text{r}}(\text{DBs})_{\odot} \approx -52$  км/с. Отметим, что эта средняя величина по DBs согласуется, в пределах ошибок, со скоростью  $V_{\odot} \approx -50$  км/с, измеренной по околозвездному компоненту профиля D-линий NaI. Подобное совпадение может служить подтверждением реальности околозвездных аналогов DIBs. Для более уверенного вывода необходимо иметь спектры с более высоким спектральным разрешением и в более широком диапазоне длин волн.

### 3.3. Химический состав атмосферы V354 Lac

#### 3.3.1. Параметры модели

Для определения основных параметров атмосферы звезды — эффективной температуры  $T_{\text{eff}}$  и ускорения силы тяжести  $\log g$ , для вычисления химического состава и синтетических спектров нами использована сетка моделей звездных атмосфер, рассчитанных в гидростатическом и ЛТР-приближениях для различных значений металличности [26]. Сложным моментом в задаче расчета химического состава звезды всегда является фиксация основных параметров —  $T_{\text{eff}}$  и  $\log g$ . Для объектов с неясным эволюционным статусом, а, следовательно, и с неопределенным покраснением, сложность возрастает, так как в этом случае затруднительно применять фотометрические данные для определения эффективной температуры. К тому же профили Бальмеровских линий нейтрального водорода в спектрах PPN могут отличаться от профилей в спектрах обычных сверхгигантов [27]. Поэтому эффективную температуру звезды мы определили из условия независимости содержания нейтрального железа от потенциала возбуждения  $\chi_{\text{low}}$  соответствующих линий. Ускорение силы тяжести выбиралось в предположении ионизационного баланса атомов и ионов железа, величина микротурбулентной скорости  $\xi_t$  — из условия независимости содержания железа от интенсивности линий.

Как мы отмечали в разд. 3.1, в случае V354 Lac наблюдаемый профиль H $\alpha$  согласуется с теоретическим для полученных параметров модели, что указывает на жизнеспособность модели с данными параметрами. Достоверность выбора модели подтверждается и отсутствием зависимости содержания от потенциала возбуждения для химических элементов, представленных в спектрах многочисленными линиями (CaII, TiI, CrI, CrII). Кроме того, при надежном определении микротурбулентной скорости отсутствует зависимость индивидуальных содержаний от эквивалентных ширин линий, использованных для расчета. Типичная точность определения параметров модели

(в среднем) для звезды с эффективной температурой около 5500 К составляет  $\Delta T_{eff} \approx 100$  К,  $\Delta \log g \approx 0.5 dex$ ,  $\Delta \xi_t \approx 1.0$  км/с. Анализ ошибок содержаний химических элементов, обусловленных указанными ошибками параметров и неточностью измерений эквивалентных ширин линий  $W_\lambda$  приводит нас к выводу, что основной вклад в неопределенность для подавляющего числа химических элементов дают ошибки  $W_\lambda$ .

Стандартной проверкой самосогласованности полученных параметров является хорошее согласие между наблюдаемым и синтетическим спектрами. Последние рассчитаны нами с помощью программы SynthV [26]. Сопоставление спектров указывает на удовлетворительное согласие между ними. Для примера на Рис. 3 и 4 даны фрагменты спектров в области линии  $H\alpha$  и линии бария  $BaII \lambda 6141.7$ . Расчет выполнен с  $T_{eff} = 5650$  К,  $\log g = 0.2$ ,  $\xi_t = 5.0$  км/сек и содержанием химических элементов из Табл. 2.

Величины сил осцилляторов  $\log gf$  и иных атомных констант, необходимых для расчета содержаний химических элементов, мы заимствовали из базы данных VALD [28, 29]. В Табл. 2 даны средние содержания элементов по отношению к железу  $[X/Fe]$ , рассчитанные с параметрами модели  $T_{eff} = 5650$  К,  $\log g = 0.2$ ,  $\xi_t = 5.0$  км/сек. Химический состав атмосферы Солнца, относительно которого рассмотрены содержания химических элементов исследуемой звезды, взят из работы [30]. Все расчеты химического состава выполнены нами с помощью программ, разработанных Шуляком и др. [26] и адаптированных ими же для РС в среде OS Linux. Расчет плоско-параллельных моделей в приближении ЛТР выполнен с помощью программ, описанных в работе [26]. Поправки за сверхтонкую структуру и изотопические сдвиги, расширяющие линии  $NiI$  и  $BaII$ , не учитывались. Разброс содержаний химических элементов, полученных по набору линий, невелик: среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  в основном не превышает 0.2 dex (см. Табл. 2), но увеличивается для тяжелых ядер. При определении основных параметров ( $T_{eff}$ ,  $\log g$ ,  $\xi_t$ ) мы использовали линии малой и умеренной интенсивности с эквивалентными ширинами  $W \leq 0.25 \text{ \AA}$ , поскольку приближение стационарной плоскопараллельной атмосферы может быть неадекватным при описании наиболее сильных спектральных деталей.

### 3.3.2. Химический состав

Звезда V354 Lac была одним из первых PPN-кандидатов с деталью на 21 мкм в ИК-спектре, в атмосферах которых обнаружены большие избытки углерода и элементов s-процесса [31]. Позже Редди и др. [16] по спектрам с более высоким спектральным разрешением детально исследовали

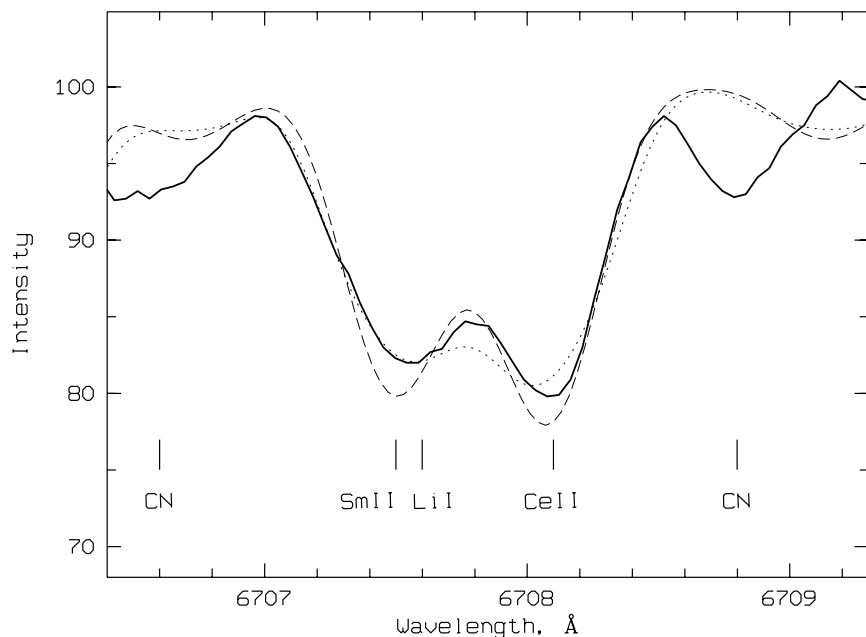
химический состав и картину лучевых скоростей по спектральным деталям, формирующимся в атмосфере и околозвездной оболочке звезды. Результаты, полученные в работе [16], мы используем ниже для сопоставления с нашими результатами, учитывая близкое спектральное разрешение. Рассмотрим детальнее содержание  $\epsilon(X)$  элементов, комбинируя в группы по типу их синтеза.

*Легкие элементы.* Как следует из Табл. 2, содержания углерода и кислорода нами определено достаточно надежно. Расчет  $\epsilon(O)$  выполнен по двум запрещенным линиям  $[OI] \lambda 5577$  и  $6363 \text{ \AA}$ . Содержание по единственной доступной в наших спектрах разрешенной линии  $OII \lambda 6155 \text{ \AA}$  согласуется с величиной, определенной по запрещенным линиям. Выявлен избыток кислорода  $[O/Fe] = +1.03$  при значительном избытке углерода  $[C/Fe] = +1.40$ , при этом отношение  $C/O > 1$ . Таким образом, для V354 Lac подтвержден статус C-rich звезды. Этот вывод совпадает с таковым из работы Редди и др. [16], однако избытки углерода и кислорода, полученные нами, выше данных [16]. Линии азота в зарегистрированном интервале длин волн нам не были доступны.

*Проблема избытка лития.* Абсорбция на  $\lambda 6707.8 \text{ \AA}$ , традиционно отождествляемая с линией нейтрального лития  $LiI$ , в спектре V354 Lac имеет большую эквивалентную ширину  $W_\lambda = 127 \text{ m\AA}$ , что приводит к очень большому избытку лития  $\epsilon(LiI) = 3.1$ . Проблема большого избытка лития  $LiI$  в случае V354 Lac, найденного в работах [16, 31], а также для нескольких других PPN ([16, 32, 33]) приводит к необходимости искать физические механизмы наработки и быстрого выноса в атмосферу изотопов этого элемента для далеко проэволюционировавших звезд (см., например, обзор [34]). Попытки объяснить его вкладом изотопа  ${}^6Li$  несостоятельны из-за низкого содержания этого изотопа ( $[{}^6Li/{}^7Li] < 0.1$ , см., например, [35]). Вспомним, что в атмосфере V354 Lac обнаружены большие избытки тяжелых металлов, и, в частности, ионизованного самария [16]. Поскольку линия  $LiI \lambda 6707 \text{ \AA}$  блендирована линией  $SmII \lambda 6707.5 \text{ \AA}$ , мы сочли необходимым для уточнения содержания лития применить расчет синтетического спектра.

Кроме отмеченной большой эквивалентной ширины линии  $LiI$ , наблюдается еще одна трудность в интерпретации линии  $LiI$  в спектре V354 Lac — наличие интенсивного длинноволнового компонента около  $6708.1 \text{ \AA}$  (см. Рис. 6). Редди и др. [16], рассмотрев возможные варианты отождествления этого компонента, склонились к версии его возникновения в околозвездной оболочке. Однако мы





**Рис. 6.** Фрагмент спектра V354 Lac вблизи линии LiI  $\lambda$  6707 (сплошная линия). Синтетический спектр рассчитан с  $T_{eff}=5650$  K,  $\log g=0.2$ ,  $\xi_t=5.0$  км/сек, содержания химических элементов из Табл. 2. Пунктир:  $\varepsilon(\text{LiI})=2.0$ ,  $\varepsilon(\text{CeII})=3.2$ ,  $\varepsilon(\text{SmII})=2.7$ . Штриховая линия —  $\varepsilon(\text{LiI})=2.5$ ,  $\varepsilon(\text{CeII})=2.8$ ,  $\varepsilon(\text{SmII})=2.4$ .

считаем, что такая трактовка неприемлема из-за несогласия с общей картиной лучевых скоростей в атмосфере и оболочке звезды и предлагаем более естественное объяснение, связанное с избытком CeII в атмосфере V354 Lac. Недавно Рейнерс и др. [36] показали, что при большом избытке CeII в атмосферах post-AGB звезд, ион церия (линия CeII  $\lambda$  6708.099) обеспечивает значительный вклад в эквивалентную ширину этой линии. В результате расчетов, проведенных нами при вариациях вклада тяжелых химических элементов, мы пришли к выводу, что хорошее согласие наблюдений и расчетов для фрагмента  $\lambda$  6707–6708 Å достигается, если учесть вклад линии SmII  $\lambda$  6707.47 Å и CeII  $\lambda$  6708.099 [28, 29].

Наилучшее согласие наблюдений с синтетическим спектром получено при  $\varepsilon(\text{LiI})=2.0$ ,  $\varepsilon(\text{CeII})=3.2$ ,  $\varepsilon(\text{SmII})=2.7$  (на Рис. 6 этот вариант расчета нанесен пунктиром). Несколько большее расхождение с наблюдениями получается при более высоком содержании лития,  $\varepsilon(\text{LiI})=2.5$ , и занижении содержаний церия и самария,  $\varepsilon(\text{CeII})=2.8$ ,  $\varepsilon(\text{SmII})=2.4$  (на Рис. 6 этот вариант расчета показан штриховой линией). Итак, мы показали, что особенности фрагмента  $\lambda$  6707–6708 Å в спектре V354 Lac получает естественное объяснение при корректном учете избытка тяжелых металлов, наблюдаемого в атмосфере этой звезды.

*Содержание натрия* определено по линиям NaI  $\lambda$  5682, 6154 и 6160 Å умеренной интенсивности, для которых невелики поправки, вызванные отклонением от локального термодинамического равновесия [37, 38]. Поэтому выявленный избыток натрия  $[\text{Na}/\text{Fe}]=+0.65$  в основном может быть продуктом синтеза натрия в NeNa-цикле, который идет одновременно с горением водорода в CNO-цикле. Содержание магния, определенное по трем линиям, MgI  $\lambda$  5528, 5711 и 6319 Å, также повышено:  $[\text{Mg}/\text{Fe}]=+0.41$ . Отношение  $[\text{Na}/\text{Mg}]=+0.24$ .

*Элементы железного пика.* Содержание железа  $\log \varepsilon(\text{FeI}, \text{FeII})=6.24$ , рассматриваемое обычно в качестве критерия металличности, в атмосфере V354 Lac понижено относительно солнечного:  $[\text{Fe}/\text{H}]=-0.76$ . Редди и др. [16] получили металличность  $[\text{Fe}/\text{H}]=-0.81$ , отличающуюся от нашего результата в пределах ошибок определения основных параметров. Достаточно надежно определено содержание хрома и никеля, относящихся к группе железа, также мало отличается от нормального:  $[\text{CrI}, \text{CrII}, \text{NiI}/\text{Fe}]=+0.16$ . В целом, можем говорить о взаимном согласии полученных результатов содержания элементов группы железа.

*Тяжелые металлы.* Как мы отмечали выше, в атмосфере звезды V354 Lac обнаружены большие избытки тяжелых элементов, синтезируемых в ходе s-процесса [16, 31]. Как следует из Табл. 2, наши

расчеты содержаний элементов Zr, Ba, La, Ce, Pr, Nd достаточно хорошо согласуются с результатами Редди и др. [16]. Помимо этих элементов, нами получен столь же значительный избыток европия ( $[Eu/Fe]=+1.59$ ), синтезируемого в ходе быстрой нейтронизации, т.е. в условиях высокой плотности нейтронов.

Избыток тяжелых элементов по отношению к железу — факт ожидаемый, но нечасто обнаруживаемый для атмосфер сверхгигантов на стадии post-AGB. Необходимые физические условия для эффективного *s*-процесса и последующего выноса в поверхностные слои обогащенного тяжелыми ядрами вещества обеспечиваются именно в звездах на стадии AGB (см. историю и современное понимание проблемы в обзоре Буссо и др. [39]). Однако чаще в атмосферах этих звезд на стадии post-AGB наблюдается дефицит элементов *s*-процесса [27, 40]. Среди изученных кандидатов в PPN было выявлено около дюжины объектов с избытками тяжелых металлов, синтез которых идет за счет нейтронизации ядер железа в условиях низкой плотности нейтронов (*s*-процесс). Из анализа спектров выборки PPN выяснилось, что ожидаемые избытки элементов *s*-процесса наблюдаются в атмосферах тех PPN, атмосферы которых обогащены углеродом, и в ИК-спектрах которых имеется эмиссия на длине волны 21 мкм [14, 16, 27, 31, 41–43]. Подавляющее же число PPN не имеют ни избытка углерода (так называемые O-rich звезды), ни избытка тяжелых металлов (см., например, [7, 14, 44]). Наличие или отсутствие избытка элементов *s*-процесса связано с исходной массой звезды и темпом потери массы на стадии AGB, определяющими ход эволюции конкретной звезды и массу звездного ядра. Моделирование процесса третьего перемешивания [45] показывает, что эффективность выноса продуктов реакций растет с увеличением массы ядра (а, следовательно, и исходной массы) post-AGB звезды. Обнаруженная корреляция между наличием избытка тяжелых металлов в атмосфере звезды и 21 мкм-особенностью ИК-спектра оболочки этой звезды требует объяснения, а, следовательно, расширения выборки объектов и последующего детального изучения наиболее вероятных кандидатов в PPN. Сочетание избытка углерода и присутствия детали на 21 мкм позволяет предположить, что молекула, формирующая эту деталь, содержит атомы углерода [46].

В связи с выявленным избытком тяжелых элементов напомним, что для сильных абсорбций этих элементов в спектре V354 Lac мы обнаружили расщепление ядер и/или асимметрию линий (Рис. 4). В спектре V354 Lac линии этих ионов (YII, ZrII, LaII, CeII, NdII и BaII) усилены до такой степени, что их

интенсивности сравнимы с интенсивностями линий HI (ср. Рис. 3 и 4). Очевидно, что линии низкого возбуждения, формирующиеся в верхних слоях звездной атмосферы, испытывают влияние газовой оболочки. При недостаточном спектральном разрешении интенсивность оболочечных компонентов добавляется к интенсивности компонентов, формирующихся в атмосфере. Для иллюстрации на Рис. 4 мы приводим фрагмент спектра, содержащий линию бария BaII 6141 Å. Из рисунка видно, что положение коротковолнового компонента совпадает с положением околосреднего компонента NaD1 (см. Рис. 2). Это совпадение подтверждает, что сложный профиль линии BaII содержит, помимо фотосферной компоненты, детали, формирующиеся в околосредней оболочке. Следовательно, содержание тяжелых ядер, определенное по самым сильным абсорбциям в спектре V354 Lac, является сверхизбыточными, по нашим оценкам примерно на 0.2–0.4 dex. Более реальными являются содержания, определенные по линиям умеренной интенсивности.

Известно [47], что важным параметром нейтронной экспозиции служит отношение средних содержаний тяжелых (Ba, La, Ce, Pr, Nd) и легких элементов *s*-процесса (Y, Zr). Чем выше плотность нейтронного потока, тем больше отношение *hs/lc*. Источник IRAS 22272 + 5435 выделяется среди родственных объектов очень высоким отношением  $hs/lc = 0.6$  (см., например, сводку этих данных в работе [16]). Столь высокое отношение *hs/lc* свойственно CH-звездам [47]. Вероятно, это отношение в случае IRAS 22272 + 5435 несколько снизится, если учесть обнаруженное расщепление сильных линий ионов.

*О сепарации химических элементов в оболочке.* Известно, что у звезд с газопылевыми оболочками селективная сепарация химических элементов может быть эффективным механизмом, создающим аномальную распространенность элементов в атмосфере. Нельзя полностью исключить конденсации на пылинки и в случае V354 Lac. Аргументом в пользу такого вывода является несколько повышенное относительное содержание цинка и серы:  $[Zn/Fe]=+0.23$ ,  $[S/Fe]=+0.15$  [16]. Избыток цинка на уровне ошибки определения по одной линии, но избыток серы определен достаточно надежно по 6 линиям [16]. Таким образом, часть дефицита железа (порядка 0.2 dex) в атмосфере может быть обусловлена конденсацией атомов железа на пылинки в оболочке звезды.

#### 4. ВЫВОДЫ

По оптическим спектрам post-AGB звезды V354 Lac, полученным в 2007–2008 г.г. с эшелле-спектрографом 6-м телескопа со спектральным

разрешением  $R \geq 50000$ , обнаружено расщепление ядер, или же асимметрия (протяженное коротковолновое крыло) сильных абсорбций с потенциалами возбуждения нижнего уровня  $\chi_{low} < 1$  eV. В первую очередь это относится к сильнейшим абсорбциям, отождествляемым с линиями ионов тяжелых металлов (Ba, La, Ce, Nd).

Наблюдаемый профиль линии  $H\alpha$  хорошо согласуется с теоретическим, рассчитанным с фундаментальными параметрами звезды и с нормальным (солнечным) содержанием водорода. Это дает основание говорить о формировании линии в фотосфере звезды и слабом вкладе оболочки, а также о нормальном содержании водорода в фотосфере.

Определены основные параметры атмосферы звезды:  $T_{eff}=5650$  K,  $\log g=0.2$ ,  $\xi_t=5.0$  км/с и содержания 22 химических элементов. Учет обнаруженного расщепления ядер сильных абсорбций может снизить сверхизбытки тяжелых металлов, выявленные ранее. Показано, что особенности спектрального фрагмента  $\lambda 6707-6708$  Å получают естественное объяснение при учете избытка тяжелых металлов: наилучшее согласие наблюдений с синтетическим спектром получено при  $\epsilon(LiI)=2.0$ ,  $\epsilon(CeII)=3.2$ ,  $\epsilon(SmII)=2.7$

Лучевая скорость звезды, измеренная для 3-х моментов наблюдений в 2007–2008 г.г., в пределах точности совпадает с ранее опубликованными для этой звезды данными, что позволяет предположить отсутствие изменений поля скоростей в атмосфере и околозвездной оболочке V354 Lac за последние 15 лет наших наблюдений.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны В. В. Цымбалу за предоставленную возможность использования программ для расчета моделей звездных атмосфер и синтетических спектров в среде OS Linux и М. В. Юшкину за помощь в наблюдениях. Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 08–02–00072 а), программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН “Протяженные объекты во Вселенной” и программы Президиума РАН “Происхождение и эволюция звезд и галактик”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. J. Hrivnak, *Astrophys. J.* **438**, 341 (1995).
2. B. J. Hrivnak and S. Kwok, *Astrophys. J.* **371**, 631 (1991).
3. T. Blöcker, *Astrophys. Space Sci.* **275**, 1 (2001).
4. V. G. Klochkova, M. V. Yushkin, A. S. Miroshnichenko, et al., *Astronom. and Astrophys.* **392**, 143 (2002).
5. V. G. Klochkova, E. L. Chentsov, V. E. Panchuk, and M. V. Yushkin, *IBVS* **5584**, 1 (2004).
6. V. G. Klochkova, E. L. Chentsov, and V. E. Panchuk, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **63**, 112 (2008).
7. В. Г. Клочкова, В. Е. Панчук и Н. С. Таволжанская, *Письма в АЖ* **28**, 49 (2002).
8. C. S. Jeffery and D. Schönberner, *Astronom. and Astrophys.* **459**, 885 (2006).
9. V. Panchuk, V. Klochkova, M. Yushkin and I. D. Najdenov, in *Proceedings of the Joint Discussion No. 4 during the IAU General Assembly of 2006*. (Editorial Complutense, Madrid, 2007), p.179.
10. М. В. Юшкин, В. Г. Клочкова, *Препринт Спец. Астрофиз. Обсерв.* № 206 (2005).
11. Г. А. Галазутдинов, *Препринт Спец. Астрофиз. Обсерв.* № 92 (1992).
12. V. G. Klochkova, E. L. Chentsov, V. E. Panchuk, et al., *Baltic Astronomy* **16**, 155 (2007).
13. V. G. Klochkova, E. L. Chentsov, N. S. Tavganskaya, and M. V. Shapovalov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **62**, 162 (2007).
14. V. G. Klochkova, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **272**, 710 (1995).
15. В. Е. Панчук, В. Г. Клочкова, И. Д. Найденов и др., *Препринт Спец. Астрофиз. Обсерв.* № 139 (1999).
16. B. E. Reddy, D. L. Lambert, G. Gonzalez, and D. Yong, *Astrophys. J.* **564**, 482 (2002).
17. B. J. Hrivnak and L. Wenxian, in *Proceed. IAU Symp. No. 177*, (Kluwer Acad. Publisher, Dordrecht, 2000) p. 293.
18. E. J. Bakker, E. F. van Dishoeck, L. B. F. M. Waters, and T. Schoenmaker, *Astronom. and Astrophys.* **323**, 469 (1997).
19. D. Fong, M. Meixner, E. C. Sutton, et al. *Astrophys. J.* **652**, 1626 (2006).
20. C. Loup, T. Forveille, A. Omont, and J. F. Paul, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **99**, 291 (1993).
21. J. P. Vallée, *Astronom. J.* **135**, 1301 (2008).
22. Y. P. Georgelin and Y. M. Georgelin, *Astronom. and Astrophys.* **6**, 349 (1970).
23. T. Foster and J. MacWilliams, *Astrophys. J.* **644**, 214 (2006).
24. R. Luna, N. L.J. Cox, M. A. Sattore, et al., *Astronom. and Astrophys.* **480**, 133 (2008).
25. L. M. Hobbs, D. G. York, T. P. Snow, et al. *Astrophys. J.* **680**, 1256 (2008).
26. D. Shulyak, V. Tsybal, T. Ryabchikova, et al., *Astronom. and Astrophys.* **428**, 993 (2004).
27. V. G. Klochkova, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **44**, 5 (1997).
28. N. E. Piskunov, F. Kupka, T. A. Ryabchikova et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **112**, 525 (1995).
29. F. Kupka, N. E. Piskunov, T. A. Ryabchikova, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **138**, 119 (1999).
30. M. Asplund, N. Grevesse, and A. J. Sauval, *ASP Conf. Ser.*, **336**, 25 (2005).

31. L. Začs, V. G. Klochkova and V. E. Panchuk, Monthly Notices Roy. Astronom. Soc. **275**, 764 (1995).
32. B. E. Reddy, M. Parthasarathy, G. Gonzalez, and E. J. Bakker, Astronom. and Astrophys. **328**, 331 (1997)
33. B. E. Reddy, E. J. Bakker, and B. J. Hrivnak, Astrophys. J. **524**, 831 (1999)
34. J. Lattanzio, in Planetary Nebulae: Their Evolution and Role of Dredge-Up and Hot Bottom Burning. IAU Symp. **209**, 73 (2003).
35. В. Г. Ключкова, В. Е. Панчук, Успехи физических наук **164**, 657 (1994).
36. M. Reyniers, H. Van Winckel, E. Biemont, and P. Quinet, Astronom. and Astrophys. **395**, L35 (2002).
37. Y. Takeda and M. Takada-Hidai, Publ. Astronom. Soc. Japan **46**, 395 (1994).
38. Y. Takeda, G. Zhao, M. Takada-Hidai, et al., Chin. J. Astron. Astrophys. **3**, 316 (2003).
39. M. Busso, R. Gallino, and G. J. Wasserburg, Annu. Rev. Astronom. Astrophys. **37**, 239 (1999).
40. H. Van Winckel, Astronom. and Astrophys. **319**, 561 (1997).
41. L. Decin, H. Van Winckel, C. Waelkens, and E. J. Bakker, Astronom. and Astrophys. **332**, 928 (1998).
42. V. G. Klochkova, R. Szczerba, V. E. Panchuk, and K. Volk, Astronom. and Astrophys. **345**, 905 (1999).
43. V. G. Klochkova and T. Kipper, Baltic Astronomy **15**, 395 (2006).
44. V. G. Klochkova, V. E. Panchuk, E. L. Chentsov, and M. V. Yushkin, Bull. Spec. Astrophys. Obs. **62**, 217 (2007).
45. F. Herwig and S. M. Austin, Astrophys. J. **613**, L73 (2004).
46. S. Kwok, K. M. Volk, and B. J. Hrivnak, Astrophys. J. **345**, L51 (1989).
47. R. E. Luck and H. E. Bond, Astrophys. J. Suppl. **77**, 515 (1991).

## NEW SPECTROSCOPIC OBSERVATIONS OF THE POST-AGB STAR V354 LAC = IRAS 22272+5435

V. G. Klochkova, V. E. Panchuk, N. S. Tavganskaya

The strongest absorption features with the lower-level excitation potentials  $\chi_{\text{low}} < 1 \text{ eV}$  are found to be split in the high-resolution optical spectra of the post-AGB star V354 Lac taken in 2007–2008 with the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences. Main parameters,  $T_{\text{eff}}=5650 \text{ K}$ ,  $\log g=0.2$ ,  $\xi_t=5.0 \text{ km/s}$ , and the abundances of 22 chemical elements in the star's atmosphere are found. The superabundance of the *s*-process chemical elements (Ba, La, Ce, Nd) in the star's atmosphere is partly due to the splitting of strong lines of the ions of these metals. The peculiarities of the spectrum in the wavelength interval containing the Li I  $\lambda 6707 \text{ \AA}$  line can be naturally explained only by taking the overabundances of the Ce II and Sm II heavy-metal ions into account. The best agreement with the synthetic spectrum is achieved assuming  $\varepsilon(\text{Li I})=2.0$ ,  $\varepsilon(\text{Ce II})=3.2$ , and  $\varepsilon(\text{Sm II})=2.7$ . The velocity field both in the atmosphere and in the circumstellar envelope of V354 Lac remained stationary throughout the last 15 years of our observations.

Key words: *stars: variable and peculiar*