

УДК 524.33

Линия лития 6708 Å в спектрах 17 химически пекулярных и нормальных А- и F-звезд по наблюдениям на ЗТШ в 2014–2015 гг.

М.А. Смирнова¹, Д.А. Ляшко², Н.С. Полосухина¹

¹ ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, Крым, 298409
merysti@mail.ru

² Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, пр. акад. Вернадского, 4,
Симферополь, Крым, 295007
dlyashko@gmail.com

Поступила в редакцию 1 июля 2016 г.

Аннотация. В рамках наблюдательной программы по исследованию спектров звезд с детектируемым содержанием лития в 2014–2015 гг. были получены спектры 17 звезд. Наблюдения проводились с помощью спектрографа “ЭСПЛ” (эшельный спектрограф Проника – Лагутина) 2.6-метрового телескопа ЗТШ (КрАО). Наблюдаемая группа состояла из звезд спектральных классов А и F в диапазоне эффективных температур 6000–8500 К. На данном этапе в группе выбрано шесть звезд с наиболее сильной линией Li I 6708 Å. При помощи метода дисперсограмм для HD 50635, HD 209166, HD 155646 и HD 215648 были выявлены переменности профилей, демонстрирующие различное поведение линии лития; у HD 110379 и HD 61064 переменность практически не наблюдается. С помощью синтетических спектров, при использовании модифицированного списка атомных линий из базы VALD, проведен расчет содержания лития по линии Li I 6708 Å. Получены следующие оценки: $\log \epsilon(\text{Li}) = 2.4 \pm 0.2$ (HD 50635), 2.38 ± 0.10 (HD 215648), 2.85 ± 0.18 (HD 110379), 2.97 ± 0.13 (HD 155646), 3.07 ± 0.11 (HD 209166), 3.35 ± 0.10 (HD 61064).

THE LI 6708 Å LINE IN SPECTRA OF 17 CHEMICALLY PECULIAR AND NORMAL A- AND F-TYPE STARS BASED ON OBSERVATIONS AT ZTSH IN 2014–2015, by M.A. Smirnova, D.A. Lyashko, N.S. Polosukhina. Within the observation program on studying stellar spectra with the detectable lithium abundance, spectra of 17 stars were obtained in 2014–2015. Observations were carried out with the Pronik–Lagutin echelle spectrograph at the 2.6 m ZTSH telescope (CrAO). The observed group included A- and F-type stars in the range of effective temperatures of 6000–8500 K. As for now, 6 stars with the strongest Li I 6708 Å line have been selected. The method of dispersograms was used for detection of variable details in spectra: for HD 50635, HD 209166, HD 155646, and HD 215648 there were revealed profile variabilities that demonstrate different behavior of the lithium line; for HD 110379 and HD 61064 the variability almost has not been observed. By using synthetic spectra, involving the modified list of atomic data from the VALD database, the lithium abundance was calculated for the Li I 6708 Å line. The estimates are as follows: $\log \epsilon(\text{Li}) = 2.4 \pm 0.2$ (HD 50635), 2.38 ± 0.10 (HD 215648), 2.85 ± 0.18 (HD 110379), 2.97 ± 0.13 (HD 155646), 3.07 ± 0.11 (HD 209166), 3.35 ± 0.10 (HD 61064).

Ключевые слова: литий, CP-звезды

1 Введение

Нашей задачей является исследование содержания лития у химически пекулярных звезд. Химически пекулярные (CP) звезды – это звезды, обладающие аномальным химическим составом. Предполагают, что у части таких звезд причиной химических аномалий являются магнитные поля. В спектрах усилены линии некоторых химических элементов, которые у нормальных звезд слабее в сотни и тысячи раз. В магнитных звездах эти элементы могут концентрироваться в пятнах на поверхности. Этот вывод следует из наблюдений: поскольку звезда вращается, линии данных элементов в ее спектре могут то усиливаться, то ослабевать.

Литий – один из немногих элементов, возникших в результате Большого взрыва, являющийся важным индикатором эволюции звезд. Литий разрушается при довольно низких температурах порядка 2.5×10^6 К. Определение содержания лития в атмосферах звезд разных типов является предметом многих исследований. Содержание лития в атмосфере Солнца $\log N(\text{Li}) = 1.05 \pm 0.10$ (Асплунд и др., 2009), в шкале $\log N(H) = 12.0$, оказалось гораздо беднее, чем начальное содержание лития у молодых звезд главной последовательности $\log \epsilon(\text{Li}) = 3.2 \pm 0.1$ (Любимков и др., 2012).

Во время жизни звезды на главной последовательности содержание лития значительно уменьшается, но некоторые звезды попадают на ветвь гигантов практически с первоначальным содержанием.

Степень литиевого истощения зависит от температуры звезды, ее массы, а также от эффективности физических процессов. За счет вращения, конвекции и других механизмов перемешивания литий из атмосферы попадает в более глубокие и горячие слои, а затем обедненное литием вещество выносится обратно в атмосферу, и поэтому атмосферы старых звезд обычно имеют более низкое содержание этого элемента, чем молодые звезды.

Широкий диапазон содержания лития для физически подобных звезд является загадкой современной астрофизики.

Интенсивные систематические наблюдения лития в CP-звездах были начаты в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) на телескопе ЗТШ в 1974 году. В дальнейшем это привело к международному сотрудничеству в рамках проекта “Lithium in cool CP-stars with magnetic fields”. Наблюдения проводились на различных телескопах мира: CAT (ESO), Feros (ESO), 74” телескопе обсерватории Маунт-Стромло (Австралия), БТА (САО, Россия). Был проведен анализ спектров ряда CP-звезд, различающихся поведением линии лития 6708 Å, с фазой вращения звезды.

Наиболее важными результатами этой серии наблюдений являются открытие уникальной переменности профиля линии лития 6708 Å с фазой вращения для осциллирующих звезд HD 83368 и HD 3980 (Полосухина, 1999; Шаврина и др., 2002; Д्राке и др., 2004) и определение параметров литиевых пятен для 4-х звезд: HD 83368 (Кочухов и др., 2004), HD 60435 (Шаврина и др., 2001), HD 12098 (Шаврина и др., 2009), HD 3980 (Несвасил и др., 2012).

С 2010 года мы вновь начали систематические наблюдения звезд на ЗТШ для пополнения базы данных спектральных наблюдений в области Li I 6708 Å и статистического анализа полученных данных. Этот анализ позволит получить зависимость содержания лития от физических параметров звезды, таких как эффективная температура звезды T_{eff} , логарифм ускорения силы тяжести на поверхности звезды $\log g$, скорость вращения, металличность, напряженность поверхностного магнитного поля, содержание редкоземельных элементов.

Нами ставились следующие задачи:

- Проведение тестовых наблюдений ряда звезд с целью обнаружения объектов с сильной линией Li I 6708 Å.
- Определение содержания лития методом синтетического спектра по линии Li I 6708 Å.
- Изучение переменности профиля линии Li I 6708 Å с фазой вращения звезды для исследования распределения лития по поверхности звезд.
- Моделирование CP-звезд с неоднородным распределением лития и редкоземельных элементов, расчеты теоретических профилей линии с учетом магнитного поля.

В настоящей работе изложены первые результаты, полученные по наблюдениям линии лития Li I 6708 Å на ЗТШ в 2014–2015 гг.

2 Наблюдения и обработка спектров, полученных на ЗТШ

С декабря 2013 года в КраО на телескопе ЗТШ ведутся наблюдения с помощью эшеллевого спектрографа в фокусе куде “ЭСПЛ” (эшелленый спектрограф Проника – Лагутина). В нем установлена эшелле с 37.5 штр/мм и углом блеска 63.5 градуса и камера F/3.8 с фокусным расстоянием 1800 мм.

Таблица 1. Информация о наблюдаемых звездах

HD	Спектральный класс	Звездная величина	T_{eff}	$\log g$	$V \sin i$ км/с	$\log \epsilon(\text{Li})$ (литература)
химически пекулярные звезды						
10809 [13]	A8p	6.8	6870 [11]	3.1 [11]		
50635 [12]	A8p?	4.7	7113 [1]	4.0 [11]	8.0[6],[15]	2.6 [6]
110379 [2]	F0IVp?	3.44	6875 [11]	4.46 [11]	25.5 [1]	
123255 [13]	F2IVp?	5.46	7014 [11]	3.78 [11]	154.7 [13]	
140160 [2]	Ap	5.3	8610[11]	2.0 [11]	60.0 [11]	
149911 [11]	Ap	6.09	7400 [11]		45.0 [11]	
176232 [5]	A7Vp	5.9	7650[5]	4.0 [5]	2.7 ± 0.5 [5]	
нормальные звезды						
8634 [10]	F5III	6.1	6600 [10]	4.0[10]	34 [11]	3.1 [10]
61064 [4]	F6III	5.14	6700 [15]	3.24 [15]	30.1 [11]	3.41 [4]
89025 [10]	F0	3.65	7216 [1]	3.2[11]	81.3 ± 4.1 [1]	3.2 [10]
129502 [10]	F2V	4.1	6695 [1]	2.94[11]	105.7 [11]	3.2 [4,10]
155646 [4]	F6III	6.65	6201 [14]	3.80 [14]	6.9 [11]	3.13 [4]
166230 [8]	A4V	5.10	7638 [9]	3.46[9]	42.54 [9]	
181333 [3]	F0III	5.53	7161 [9]	3.41[9]	47.83 [9]	
182900 [4]	F6III	5.77	6338 [9]	3.73 [9]	31.08 [9]	2.94 [4]
209166 [10]	F4III	5.61	6970 [7]	3.35[7]	10 [11]	3.1 [10]
215648 [4]	F6V	4.7	6282 [1]	3.97 [11]	8.9 [11]	2.47 [4]

(Аммлер-вон Эйф, Рейнерс, 2012) [1]; (Бычков и др., 2005) [2]; (Ландсмен, Симон, 1993) [3]; (Де Медейрос и др., 2000) [4]; (Несвасил и др., 2008) [5]; (Полосухина и др., 2012) [6]; (Рачковская, 2002) [7]; (Рачковская, 2005) [15]; (Холмгрен и др., 1990) [8]; (Эрспамер и Норт, 2003) [9]; (Ясниевич и др., 2006)[10]; ресурс VizieR [11]; (Грей и Гаррисон, 1989) [12]; (Райт и др., 2012) [13]; (Редди и др., 2003) [14]; (Триллинг и др., 2007) [15].

В наблюдательные ночи было выполнено несколько экспозиций выбранных объектов (табл. 1) в спектральной области 6685–6735 Å продолжительностью 30 минут каждая. Получены калибровочные изображения темнового тока и плоских полей. После чего с помощью программного комплекса CCDPROC и SPE (Сергеев, 1991) спектры были обработаны следующим образом: усреднены изображения темнового тока и плоского поля (количество изображений было не менее 5), произведено вычитание темнового тока (bias), коррекция за плоское поле (Flat Field) и выделение спектра из эшелле-изображения соответствующего спектрального порядка.

Полученные одномерные спектры обрабатывались с помощью программы SPE. Спектр очищался от частиц, производилась калибровка по длинам волн при помощи эталонного спектра сравнения, который содержит спектральные диапазоны, используемые при наблюдениях на куде-спектрографе

ЗТШ. Спектр сравнения снимался каждую наблюдательную ночь. Затем проводился континуум путем построения полинома по локальным максимумам (степень полинома может быть различной в зависимости от полученных спектров), после чего производилась поправка на баричесентр.

Также для обработки спектров применяется программа DECH20 (Галазутдинов, 1992).

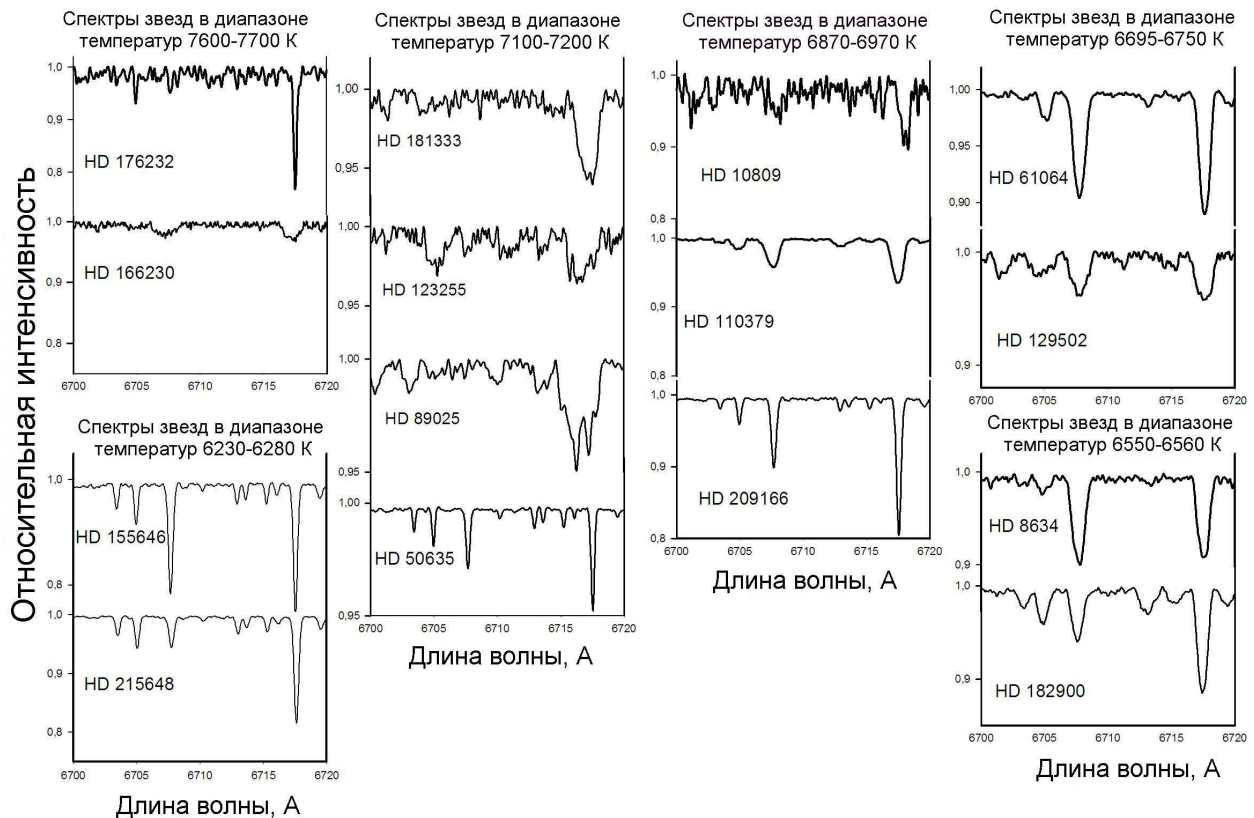


Рис. 1. Спектры звезд, полученные на ЗТШ в период с 2010 по 2015 годы в области 6700–6720 Å

Так как мы вновь начали наблюдения звезд в области линии лития, то для проверки получаемых нами результатов, одновременно со спектрами исследуемых объектов, нами были получены спектры звезд с уже известным содержанием лития (мы выбрали звезды-гиганты и несколько ранних F-звезд). Для наблюдений выбирались в основном яркие объекты классов A и F, близкие по ряду наблюдательных особенностей, таких как эффективная температура и скорость вращения. Для большинства звезд визуальные звездные величины находятся в интервале 4.1–6.5 mag.

Не все объекты, подобранные нами для исследования, показали наличие линии лития. В спектрах HD 149911, HD 140160 лития не обнаружено.

На рис. 1 представлены спектры программных звезд. Из полученных нами спектров видно, что наблюдаемые объекты показали различную интенсивность линии лития в узком диапазоне температур. На данном этапе мы выбрали шесть из них с наиболее сильной линией лития 6708 Å: HD 50635, HD 215648, HD 209166, HD 155646, HD 110379 и HD 61064, накопив для них наибольшее количество спектрального материала.

3 Метод дисперсограмм

Чтобы представить переменность спектра более очевидной, мы рассчитали спектр “переменности” как величину дисперсии значений (Маланушенко и др., 1992)

$$\sigma_{\text{obs}} = \frac{1}{I_{\text{mean}}} \sqrt{\frac{\sum (I_i - I_{\text{mean}})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где I_i – значение интенсивности спектра звезды в отдельных длинах волн (i), I_{mean} – соответственно среднее значение интенсивности в этих длинах волн, n – число наблюдаемых спектров.

При помощи метода дисперсограмм была исследована переменность профиля линии Li I 6708 Å.

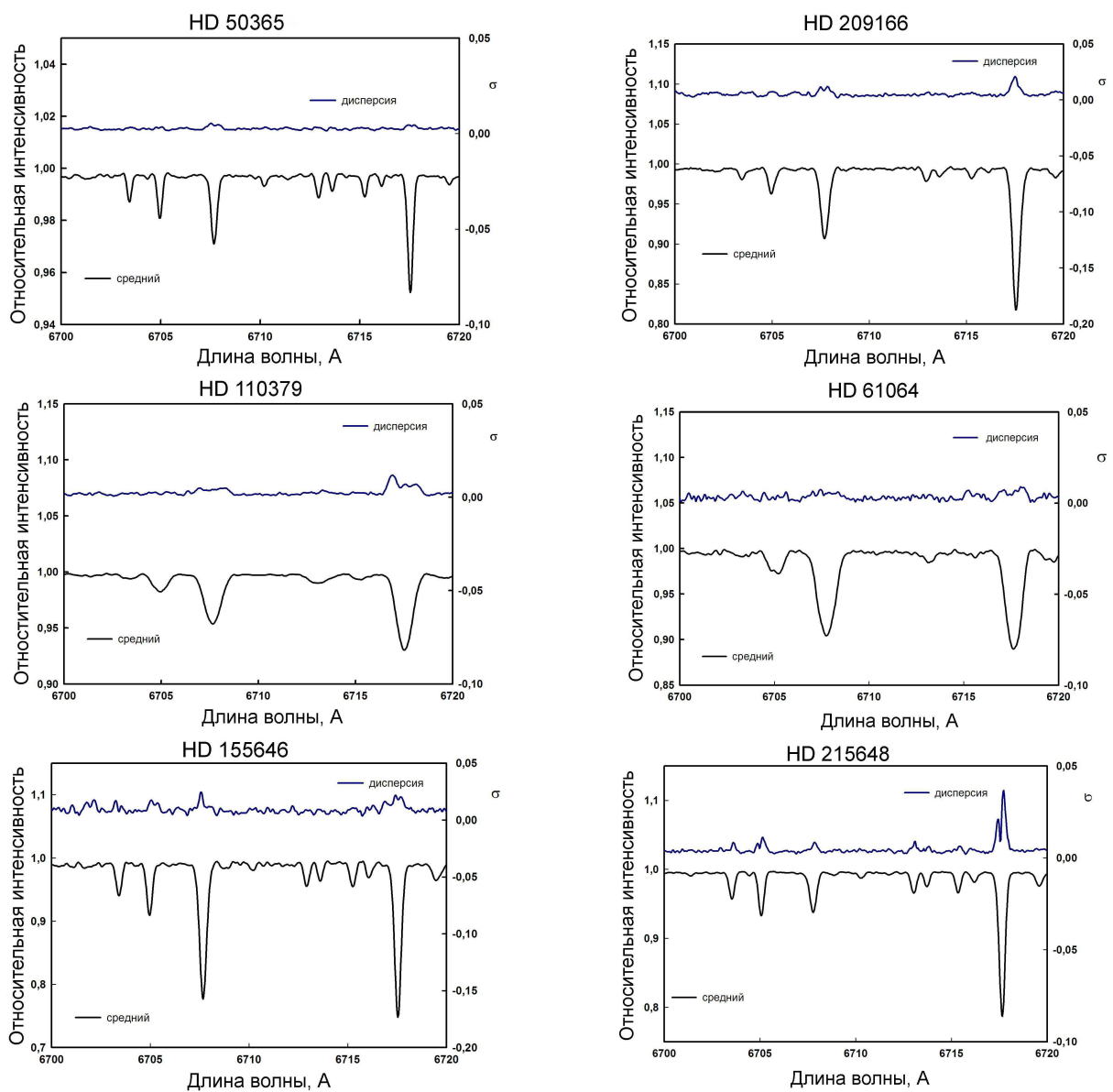


Рис. 2. Дисперсограммы для шести звезд

Как видно из рис. 2, дисперсограммы звезд демонстрируют различное поведение этой линии: HD 50635, HD 209166 имеют маленькую амплитуду, но в тоже время сложную структуру переменности линии лития; для HD 61064, HD 110379 линия Li I 6708 Å практически не переменная; HD 155646 демонстрирует переменность всех элементов; HD 215648 – переменность линии лития, в сравнении с линиями других элементов, выражена слабее.

К сожалению, не для всех заинтересовавших нас звезд в литературе приведены периоды вращения, поэтому для дальнейших исследований необходимо определить эти периоды. Также для проведения картирования поверхности в линиях лития и других элементов для отобранных звезд необходимо определить наличие магнитного поля, для чего планируется провести поляриметрические наблюдения.

4 Предварительное определение содержания лития

Оценка содержания проводилась методом синтетических спектров с помощью программы SynthV (Цымбал, 1996). Модели атмосферы были взяты из сетки Куруца (1994) с параметрами, максимально близкими к параметрам, приведенным в таблице 1. Содержания лития для исследуемых звезд были получены путем подгонки расчетного профиля к наблюдаемому (рис. 3). Для HD 209166 в работе Рачковской (2002) были уточнены параметры атмосферы, и мы решили использовать программу LLmodels80 (Шуляк и др., 2004) для расчета модели атмосферы с этими параметрами с последующим определением содержания лития методом синтетических спектров. Применив для HD 209166 данную модель и модель, взятую из сетки Куруца, мы не увидели значимой разницы в содержании лития, поэтому решили не пересчитывать остальные объекты, а взять стандартные модели из ЛТР-сетки Куруца (см. табл. 2). Наши расчеты неплохо согласуются с вычислениями, полученными другими авторами.

Таблица 2. Содержания лития в атмосферах шести звезд

Группа	HD	Модель $T_{\text{eff}}/\log g$	$V \sin i$ км/с	$\log \epsilon(\text{Li})$ наше значение	$\log \epsilon(\text{Li})$ литература
карлики	HD 50635	7000/4.0	8.0	2.4 ± 0.2	2.6[6]*
	HD 215648	6250/4.0	8.9	2.38 ± 0.10	2.47[4]*
	HD 110379	6750/4.5	25.5	2.85 ± 0.20	
гиганты	HD 155646	6250/3.5	6.9	2.97 ± 0.13	3.13[4]*
	HD 209166	6970/3.35	10	3.07 ± 0.11	3.1[10]*
	HD 61064	6750/3.0	30.1	3.35 ± 0.10	3.41[4]*

*Ссылки на литературу взяты из таблицы 1

В процессе эволюции нормальная звезда, имея заметное начальное содержание лития, теряет его вследствие изменений физических условий, температурного режима и условий перемешивания звездного вещества. При высоких температурах внутри звезды литий легко разрушается, и звезда приходит к концу эволюционного пути практически полностью исчерпав запас этого элемента. Однако среди проэволюционировавших звезд наблюдается линия резонансного дублета лития Li I 6708 Å и большой разброс в содержании лития до 6 порядков. Наличие лития в спектре звезды является указанием на то, что заторможена общая циркуляция вещества между внешними и внутренними слоями звезды, т. е. возможны физические причины, которые, во-первых, тормозят разрушение лития, а во-вторых – в случаях, когда содержание лития велико, высказываются предположения о продуцировании лития в этих объектах. Высокое содержание лития у звезд-гигантов привело к теории синтеза, связанной с перемешиванием (восходящие струи, диффузия).

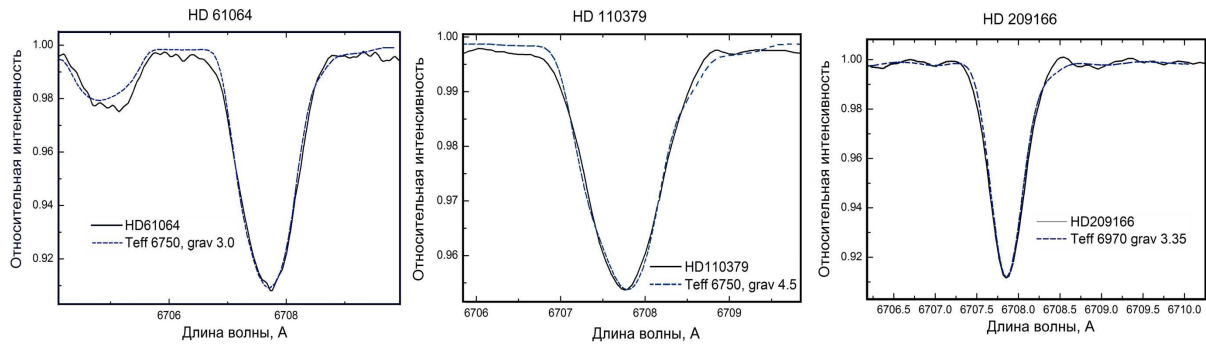


Рис. 3. Согласие наблюдаемого (сплошная линия) и синтетического (пунктирная линия) спектров для звезд HD 209166, HD 61064 и HD 110379, $V \sin i$ взяты из таблицы 1, разрешение спектра 30000

Из табл. 2 видно, что все шесть звезд имеют высокое содержание лития, варьирующееся от $\log \epsilon(\text{Li}) = 2.38$ до 3.35.

Для HD 50635 и HD 215648 содержание лития понижено по отношению к начальному и находится в пределах ~ 2.4 dex. Эти звезды находятся на стадии главной последовательности, для которой теория предсказывает уменьшение атмосферного содержания лития.

HD 110379 – двойная звезда, второй компонент HD 110380 – химически пекулярная звезда. Компоненты системы являются почти идентичными близнецами: это желто-белые звезды спектрального класса F с температурами поверхности ~ 7000 K, в настоящее время они находятся очень близко друг к другу, на расстоянии 3-х угловых секунд. Наша оценка содержания лития у HD 110379 составляет 2.85 ± 0.18 .

HD 155646, HD 209166, HD 61064 – звезды-гиганты, имеющие в своем спектре достаточно сильную линию лития, содержание $\log \epsilon(\text{Li})$ находится в пределах начального значения, $\log \epsilon(\text{Li}) = 3.2 \pm 0.1$. Вероятно, эти звезды, хотя и являются гигантами, однако, судя по их сравнительно высоким температурам ($T_{\text{eff}} \geq 6250$ K), они еще не достигли фазы глубокого конвективного перемешивания и поэтому сохранили без изменений начальное содержание лития.

5 Обсуждение

Не все объекты, спектры которых получены на ЗТШ, показали наличие линии лития в интересующей нас области. Поэтому мы исключили их из списка дальнейших исследований по программе “Литий в CP-звездах” и продолжаем наблюдения заинтересовавших нас объектов для накопления более обширной базы данных и анализа переменности литиевой линии, а также наличия пятен на наблюдаемых звездах.

Спектры некоторых наблюдаемых объектов мы сравнивали со спектрами, взятыми из библиотеки спектров ELODIE, SOPHIE, а также полученными в CAO РАН (Д. Кудрявцевым) по заявкам авторов. Полученные на ЗТШ данные хорошо согласуются со спектрами из перечисленных библиотек и могут быть использованы для более детальной обработки и последующей интерпретации.

Полученные нами оценки содержания лития в атмосферах HD 61064, HD 155646, HD 209166 и HD 215648 мы сравнили с результатами, приведенными в работах Ясниевич и др. (2006) и Де Медейрос и др. (2000). Наше значение оказалось ниже приведенной оценки на 0.03–0.16 dex, что находится в пределах погрешности.

В работе Полосухиной и др. (2012) для HD 50635, А.В. Шаврина, используя наши спектры, полученные на ЗТШ, нашла значение лития $\log \epsilon(\text{Li}) = 2.6$; нами получено значение $\log \epsilon(\text{Li}) = 2.4 \pm 0.2$. Разница между нашей оценкой в данной работе и оценкой Шавриной находится в пределах

ошибки. Различие 0.2 dex может быть обусловлено тем, что при анализе этой звезды нами была использована модель атмосферы 7000/4.0, а в работе Полосухиной и др. (2012) – модель 7250/4.0.

Создание и реализация базы наблюдательных данных в спектральной области линии лития 6708 Å – важнейшая проблема для будущих статистических и теоретических исследований нормальных и CP-звезд. Поэтому мы продолжаем наблюдения на ЗТШ в области лития для накопления более обширной базы данных и анализа переменности линии Li I 6708 Å.

6 Заключение

По результатам спектральных наблюдений, выполненных с эшелльным спектрографом “ЭСПЛ” 2.6-метрового телескопа ЗТШ (КрАО) в диапазоне длин волн 6680–6740 Å, для 6 звезд спектральных классов A8-F6V: HD 155646 (F6III), HD 209166 (F4III), HD 215648 (F6V), HD 50635 (A8p?), HD 61064 (F6III) и HD 110379 (F0IVp?) определено содержание лития.

Методом дисперсограмм исследована переменность профиля линии лития для 6 звезд. Для HD 61064 и HD 110379 переменность практически отсутствует, для HD 50635 и HD 209166 линия демонстрирует сложную структуру, у HD 155646 наблюдается переменность всех элементов, для HD 215648 переменность линии лития по отношению к линиям других элементов выражена слабее.

Расчет содержания Li выполнен с помощью синтетических спектров в области 6706–6710 Å с применением программ SynthV и LLModels80 при использовании модифицированного списка атомных линий из базы VALD. Получены следующие оценки: $\log \epsilon(\text{Li}) = 2.4 \pm 0.2$ (HD 50635), 2.38 ± 0.10 (HD 215648), 2.85 ± 0.18 (HD 110379), 2.97 ± 0.13 (HD 155646), 3.07 ± 0.11 (HD 209166), 3.35 ± 0.10 (HD 61064). В целом полученное содержание лития согласуется с оценками, приведенными в работах других авторов.

Авторы выражают благодарность Л.С. Любимкову за полезные обсуждения и внимание к работе и Д.О. Кудрявцеву за выполненные наблюдения на БТА.

Литература

- Аммлер-вон Эйф, Рейнерс (Ammler-von Eiff M., Reiners A.) // *Astron. Astrophys.* 2012. V. 542. P. A116.
- Асплунд и др. (Asplund M., Grevesse N., Sauval A.J., Scott P.) // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 2009. V. 47. P. 481.
- Бычков и др. (Bychkov V.D., Bychkova L.V., and Madej J.) // *Astron. Astrophys.* 2005. V. 430. P. 1143.
- Галазутдинов (Galazutdinov G.) // *Preprint Spec. Astrophys. Observ.* 1992. N. 92.
- Грей и Гаррисон (Gray R.O. and Garrison R.F.) // *Astrophys. J.* 1989. V. 69. P. 301.
- Де Медейрос и др. (De Medeiros J.R., do Nascimento J.D. Jr, Sankarankutty S., Costa J.M., and Maia M.R.G.) // *Astron. Astrophys.* 2000. V. 363. P. 239.
- Драке и др. (Drake N.A., Polosukhina N.S., de la Reza R., et al.) // *The A-star Puzzle. Proc. IAU Symp.* N. 224. Cambridge Univ. Press. 2004. P. 692.
- Кочухов и др. (Kochukhov O., Drake N.A., Piskunov N., de la Reza R.) // *Astron. Astrophys.* 2004. V. 424. P. 935.
- Куруц (Kurucz R.) // *CD-ROM 1*, 19–22. 1994.
- Ландсмен, Симон (Landsman W., Simon T.) // *Astrophys. J.* 1993. V. 408. P. 305.
- Любимков и др. (Lyubimkov L.S., Lambert D.L., Kaminsky B.M., Pavlenko Y.V., Poklad D.B., Rachkovskaya T.M.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2012. V. 427. P. 11.
- Маланушенко и др. (Malanushenko V., Polosukhina N., Weiss W.) // *Astron. Astrophys.* 1992. V. 259. N. 2. P. 567.
- Несвасил и др. (Nesvacil N., Weiss W.W., and Kochukhov O.) // *Contrib. Astron. Observ. Skalnaté Pleso.* 2008. V. 38. P. 329.
- Несвасил и др. (Nesvacil N., Luftinger T., Shulyak D., Obbrugger M., Weiss W., Drake N.A., Hubrig S., Ryabchikova T., Kochukhov O., Piskunov N., and Polosukhina N.) // *Astron. Astrophys.* 2012. V. 537. P. 151.

- Полосухина и др. (Polosukhina N., Kurtz D., Hack M., North P., Plyin I., Zverko J., and Shakhovskoy D.) // *Astron. Astrophys.* 1999. V. 351. N. 1. P. 283.
- Полосухина и др. (Polosukhina N., Shavrina A., Drake N.A., and Smirnova M.) // *Mem. Soc. Astron. Ital. Suppl.* 2012. V. 22. P. 129.
- Райт и др. (Wraight K.T., Fossati L., Netopil M., Paunzen E., Rode-Paunzen M., Bewsher D., Norton A.J., and Glenn J. White) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2012. V. 420. P. 757.
- Рачковская (Rachkovskaya T.M.) // *Astron. Rep.* September 2002. V. 46. Issue 9. P. 760.
- Рачковская (Rachkovskaya T.M.) // *Astron. Rep.* September 2005. V. 49. Issue 9. P. 714.
- Редди и др. (Reddy B.E., Tomkin J., Lambert D.L., and Prieto C.A.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2003. V. 340. P. 304.
- Сергеев С.Г. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 1991. Т. 83. С. 205.
- Триллинг и др. (Trilling D.E., Stansberry J.A., Stapelfeldt K.R., Rieke G.H., Su K.Y.L., Gray O., Corbally C.J., Bryden G., Chen C.H., Boden A., and Beichman C.A.) // *Astrophys. J.* 2007. V. 658. P. 1289.
- Холмгрен и др. (Holmgren D.E., Hill G., and Fesher W.) // *Astron. Astrophys.* 1990. V. 236. P. 409.
- Цымбал (Tsymbal V.) // *Model Atmospheres and Stellar Spectra / Eds Adelman S.J., Kupka F., Weiss W.W. ASP Conf. Ser.* 1996. V. 108. P. 198.
- Шаврина и др. (Shavrina A., Polosukhina N., Zverko J., Mashonkina L., Khalack V., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2001. V. 372. P. 571.
- Шаврина и др. (Shavrina A.V., Polosukhina N.S., Tsymbal V.V., et al.) // *Odessa Astron. Publ.* 2002. V. 15. P. 92.
- Шаврина А.В., Полосухина Н.С., Драке Н.А. и др. // *Кинем. и физ. небесн. тел.* 2009. Приложение № 6. С. 221.
- Шуляк и др. (Shulyak D., Tsymbal V., Ryabchikova T., Stutz Ch., Weiss W.W.) // *Astron. Astrophys.* 2004. V. 428. P. 993.
- Эрспамер и Норт (Erspamer D. and North P.) // *Astron. Astrophys.* 2003. V. 398 P. 1121.
- Ясниевич и др. (Jasniewicz G., Recio-Blanco A., de Laverny P., Parthasarathy M., and De Medeiros J.R.) // *Astron. Astrophys.* 2006. V. 453. P. 717.