

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕКУЛЯРНЫХ А-ЗВЕЗД. I. АНАЛИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН СПЕКТРАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ 2786-2810 Å И ЛИНИИ 4481MgII ДЛЯ 137 А-ЗВЕЗД

Дж.Б.ОГАНЕСЯН

Поступила 23 мая 2008

Принята к печати 20 августа 2008

Анализ зависимости эквивалентных ширин спектральной полосы 2786-2810 Å и линии 4481MgII 137 ярких А-звезд от основных параметров ( $T_{\text{эфф}}$ ,  $\log g$  и  $[M/H]$ ) показал, что 60 из них - кандидаты в пекулярные звезды. Учитывая общность поведения  $W(2800)$  и  $W(4481)$ , можно предположить, что 34 звезды являются химически пекулярными звездами. У остальных 26 звезд аномальные значения  $W(2800)$ ,  $W(4481)$  и  $[M/H]$  меняются в широких пределах, что позволяет сделать предположение о том, что возможной причиной этого может быть двойная природа звезды.

Ключевые слова: *звезды:пекулярные:спектры*

1. *Введение.* При всестороннем изучении звезд спектрального класса А наблюдается большое разнообразие пекулярностей, связанное с явлениями магнетизма, диффузии, вращения и конвекции. Если усиление линий железного ряда при заметной слабости линий Ca и C, N, O является отличительным свойством Am-звезд, то у представителей  $\lambda$  Boo класса наблюдается обратная картина - существенный дефицит содержания металлов железного ряда при нормальном содержании C, N, O. Содержание некоторых элементов в атмосфере Ap-звезд может достигать экстремальных значений, вплоть до  $\pm 4$  dex солнечного состава. Большинство Am-звезд - медленно вращающиеся ротаторы, в то время как  $\lambda$  Boo-звезды имеют относительно большие скорости вращения (100-150 км/с). Для  $\lambda$  Boo-звезд характерно отсутствие какой-либо связи между параметрами  $T_{\text{эфф}}$ ,  $\log g$ ,  $V \sin i$ , возраст, Галактические координаты, с одной стороны, и наблюдаемыми аномалиями содержания металлов, с другой. Кинематические и фотометрические свойства предполагают принадлежность  $\lambda$  Boo-звезд к Населению I, а большой процент пульсирующих среди них позволяет предположить, что они молодые объекты в стадии развития, предшествующей Главной последовательности. Последние два десятилетия отмечены интенсивным и всесторонним изучением этих звезд в широком спектральном диапазоне (от рентгена до радиоволн) с применением современной наблюдательной техники, а также теоретическими интерпретациями пекулярных особенностей А-звезд. Для объяснения пекулярных свойств

этих звезд предложен ряд моделей. Сегодня наиболее перспективной рассматривается модель, связанная с потерей массы, сопровождаемой процессами диффузии/аккреции вещества с дефицитом металлов из окружающего газо/пылевого диска - остаточного материала при образовании звезд [1]. Ключевым в этой модели является существование около звезды диска пыли/газа. Действительно, каждая третья А-звезда окружена пылевой оболочкой, а каждая пятая имеет газовую оболочку и экстремально тонкая конвективная зона А-звезд может привести к контаминации околосредного и/или межзвездного вещества в фотосферные слои звезды. В результате холодные и старые Ам-звезды имеют большой дефицит Са по сравнению с горячими молодыми А-звездами. Наоборот, у звезд солнечного типа с планетами наблюдается избыток металлов [2,3]. Для объяснения пекулярных особенностей Ам-звезд отмечается важная роль кратной природы большинства из них и, как следствие, существенная роль приливов в процессах, связанных с диффузией. Обнаружение у некоторых  $\lambda$  Воо-звезд ярких компонент ставит под сомнение одиночную природу этих объектов, а наблюдаемый дефицит содержания металлов может быть следствием контаминации двух звезд с одинаковыми спектрами [4].

Для понимания природы пекулярных А-звезд необходимо расширение и уточнение их списка. И если ситуация в случае Ам- и Ар-звезд более или менее удовлетворительная, так как существует каталог из почти 7000 таких объектов, то список кандидатов в звезды типа  $\lambda$  Воо содержит всего 137 членов. Качественно достоверные данные о химическом содержании получены только для малого числа как Ам и Ар, так и  $\lambda$  Воо-звезд, что обусловлено использованием, в основном, оптического спектра, бедного характерными спектральными деталями (линиями), которые, более того, уширены и мелки из-за относительно высоких скоростей вращения  $\lambda$  Воо-звезд.

Для расширения и уточнения списка химически пекулярных А-звезд перспективно использование ультрафиолетовой области спектра, богатой множеством резонансных линий и однородного наблюдательного материала, полученного с помощью Международного Ультрафиолетового Спутника (International Ultraviolet Explorer, далее IUE). С помощью спектров IUE возможно изучение структуры как отдельных резонансных линий, так и полос поглощения, что позволит, в частности, выделить новые пекулярные объекты и выявить новые возможности теоретической интерпретации физической природы этих пекулярностей.

В настоящей статье делается попытка идентификации новых пекулярных А-звезд. Для этого анализируется эквивалентная ширина спектральной полосы 2786-2810 А в зависимости от фундаментальных параметров звезд на примере 137 ярких А-звезд. Выбор спектральной полосы 2786-2810 А обусловлен, в основном, тем обстоятельством, что в нее попадают резонансные ( $k$  2795.5 и  $h$  2802.7 А) линии дублета MgII - самые сильные спектральные

детали, наблюдаемые в спектрах всех астрономических объектов, в том числе и А-звезд. Будучи резонансными, интенсивности этих линий сильно зависят как от содержания магния, так и от кинематических и физических характеристик объекта. Немаловажную роль играет также то обстоятельство, что непрерывное излучение А-звезд в исследуемой области спектра достаточно сильное, что позволяет уверенно измерять мощность как самой спектральной полосы, так и отдельных линий, создающих эту полосу поглощения. Некоторый вклад (до ~10%) в эту спектральную полосу вносят также субординантные линии дублета MgII (S1 2790.8 и S2 2798 Å) и линии FeII, CrII и MnII.

2. *Наблюдательный материал.* Нами использованы спектры с высоким разрешением (~0.17 Å) эшелле-спектрографа, установленного на IUE и взятые из архива INES (IUE Newly Extracted Spectra). Архив INES содержит однородный материал, который получен в результате перекалибровки и обработки с помощью нового алгоритма всех изображений, полученных за время 18-летнего функционирования IUE. Таблицы INES архива содержат длину волны, абсолютный поток и абсолютную ошибку потока (эрг/см<sup>2</sup>с Å), а также фактор качества изображения.

3. *Оценка эквивалентной ширины спектральной полосы 2786-2810 Å.* Для измерения этого параметра необходимо в исследуемой области спектра определить, по-возможности, более точный уровень непрерывного спектра. Ближний УФ-спектр А-звезд изобилует линиями однажды ионизованных металлов, что затрудняет эту задачу. Дополнительные трудности создают большие скорости вращения А-звезд. Самые высокие точки распределения потока в области 2600-3100 Å у звезд спектральных типов А9-В8 ( $T_{\text{yoo}} = 7000 + 11000$  К) приходятся на длины волн 2612 и 2912 Å - "окна", относительно свободные от линий. В качестве "локального континуума" для спектральной детали 2786-2810 Å используется прямая линия, соединяющая потоки на длинах волн 2775 и 2815 Å и практически совпадающая с прямой, проведенной для интервала длин волн 2612 и 2912 Å.

Эквивалентная ширина спектральной детали 2786-2810 Å {далее  $W(2800)$ } определяется как площадь области в интервале длин волн 2786-2810 Å между наблюдаемым спектром и "локальным континуумом", выраженная в единицах длин волн. Для звезд, имеющих более чем один спектр, определены средняя величина  $W(2800)$  и стандартное отклонение. Данные архива INES об абсолютной ошибке потока для каждого пикселя позволяют оценить относительную ошибку, которая на краях детали порядка 7% и может достигать 100% в самых глубоких точках (в ядрах резонансных линий MgII). В результате относительная ошибка  $W(2800)$  составляет не более 10% для ненасыщенных линий и достигает 20% - для насыщенных. Но даже при таких больших ошибках можно получить качественную эмпирическую зависимость между наблюдаемыми значениями  $W(2800)$  и

физическими характеристиками звезд, если анализируется однородный наблюдательный материал.

4. *Основные параметры звезд.* В первых двух столбцах табл.1 приведены HD номер и спектральный тип, согласно Каталогу ярких звезд [5], для 137 ярких ( $V > 7^m$ ) звезд. Содержание остальных столбцов табл.1 объясняется ниже. Для получения реальной эмпирической зависимости между измеренными  $W(2800)$  и основными параметрами звезд:  $T_{\text{эфф}}$ ,  $\log g$  и металличность (далее  $[M/H]$ ), последние также должны быть представлены однородными данными. При этом независимо от того, каким методом они получены спектроскопическим или фотометрическим, их ошибки сравнимы.

Существует несколько методов определения основных параметров звезд. Наиболее близкими к реальным являются параметры, которые определены путем подгонки наблюдаемых потоков к теоретическим (модельным) в широком спектральном диапазоне от УФ - до ИК-волн (далее fits). В литературе для 115 программных звезд имеются такие данные. Значения параметров звезд,

Таблица 1

НАБЛЮДАЕМАЯ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШИРИНА СПЕКТРАЛЬНОЙ  
ДЕТАЛИ 2786-2810 Å. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ  
ПРОГРАММНЫХ ЗВЕЗД

HD	SP	Параметры по методу (ubvbeta)				IUE наблюдения		HD	SP	Параметры по методу (ubvbeta)				IUE наблюдения	
		$T_{\text{эфф}}$ К	$\log g$	$[M/H]$	$E(b-y)$	$W(2800)$ $\sigma(\text{Å})$	$n$			$T_{\text{эфф}}$ К	$\log g$	$[M/H]$	$E(b-y)$	$W(2800)$ $\sigma(\text{Å})$	$n$
1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
256	A6V	7910	3.5	-0.35	-0.02	9.4(0.55)	3	24817	A2Vn	9010	4.1	0.15	0.00	8.2(0.22)	2
3003	A0V	9340	4.3	0.08	-0.01	8.2(0.44)	4	27749	A1m	7590	4.2	0.56	0.00	13.7(0.9)	3
5448*	A5Vsb	8090	3.9	-0.06	0.00	11.7	1	27819	A7V	8200	4.0	0.13	0.00	12.8	3
6539	A0	9150				9.3	1	27934	A7IVsb	8300	3.9	0.05	0.00	12.3	1
8538*	A5III-IV	8050	3.5	-0.04	0.00	12.5	1	27962	A2IVsb	9000	4.0	0.27	0.00	10.5(0.78)	2
9672	A3V	8630	4.2	0.07	-0.02	8.2	1	28319	A7III	7980	3.8	0.01	0.01	14.7	1
10982	B9.5V	10640	4.1	0.25	0.01	4.3	1	28910	A8V	8090	4.0	0.16	0.05	12.9	1
11636*	A5V	8340	4.1	0.10	0.00	10.7(0.45)	4	28978*	A2Va	9160	3.7	0.10	0.03	8.8	1
11753*	A3V	10560	3.8	-0.05	0.00	5.9(0.35)	3	29573	A2IV	8860	4.0	-0.33	0.00	9	1
12279	A1Vn	9610	4.1	0.10	0.00	6.7	1	31069	A0V	10690	4.2	0.25	0.00	4.4	1
12467	A1V	8410	4.2	-0.12	0.00	8.1	1	31295	A0Vp	8950	4.2	0.07	0.01	4.8(0.69)	2
15008	A3V	9000	3.8	0.07	0.00	9.1(0.45)	5	32977	A5V	8470	4.1	0.25	0.0	11	1
16555*	A6V	7620	3.9	-0.08	-0.01	11.7	1	37507	A4V	8300	3.9	-0.08	0.0	9.8(0.49)	11
16970	A3Vsb	9230	4.1	-0.31	0.00	8.6(0.6)	5	38090	A2	8220	3.0	-0.66	0.0	9.9(0.62)	2
17093*	A7III-IV	7780	4.0	-0.07	0.00	12.6	1	38545	A3Vn	8940	3.6	0.08	0.02	9	1
18331	A1Vn	8110	3.7	-0.26	-0.03	8.6	1	38678	A3Vn	8680	4.1	0.07	0.01	8.8(0.51)	2
18622	A4III	8060	3.6	-0.26	-0.03	9.3	1	38899	B9IV	11000	4.0	0.18	0.00	6.8(0.35)	10
18978*	A4IV	8550	4.1	0.07	0.03	10	1	39060	A5V	8230	4.3	0.09	0.02	11.8(0.22)	26
23324	B8V	12580	3.9	0.03	0.03	3.8	1	39283	A2V	9100	3.8	0.09	0.02	6.5	1
23878*	A2V	8660	3.9	0.08	0.00	9.6	1	40183	A2IVsb	8930	3.9	0.09	0.00	8.3(0.53)	2



полученные из  $UBV$  цветов [6], находятся в хорошем согласии с fits оценкой [7], что позволяет нам систематизировать их как fits. Согласно литературным данным, fits оценки  $T_{\text{эфф}}$  и  $[M/H]$  для одной и той же звезды имеют большой разброс, а значения  $[M/H]$  в некоторых случаях даже меняют свой знак, избыток на дефицит, и наоборот. Последнее может быть следствием как ошибок наблюдений, так и разброса в оценках  $T_{\text{эфф}}$ , используемых при определении  $[M/H]$ . Это наглядно продемонстрировано в [8] на примере Веги, аномальное содержание элементов железного ряда в атмосфере которой может быть объяснено также следствием большого разброса значений  $T_{\text{эфф}}$ . Учитывая вышеуказанные замечания, мы для всех звезд кроме семи создали однородную базу данных основных параметров  $T_{\text{эфф}}$ ,  $\log g$  и  $[M/H]$  (столбцы 3-5 табл.1), используя программу Муна [9] и  $ubv\beta$  фотометрические индексы Стремгрена из каталога Хоука и др. [10]. Значения  $[M/H]$  в таблице даны в солнечных единицах. Калибровка Смалея [11] использована для перехода от индекса металличности  $\delta m_0$  к  $[M/H]$ . С помощью этого метода  $T_{\text{эфф}}$ ,  $\log g$  и  $[M/H]$  определены с ошибкой 200 K, 0.2 dex и 0.2 dex, соответственно.

Для определения степени корреляции параметров  $T_{\text{эфф}}$ ,  $\log g$ ,  $[M/H]$ , полученных методами fits [6,7,12-30] и  $ubv\beta$  (столбцы 3-5 табл.1), для непокрашенных звезд  $E(b-y) \leq 0.01$  (столбец 6 табл.1), на рис.1a, b и c

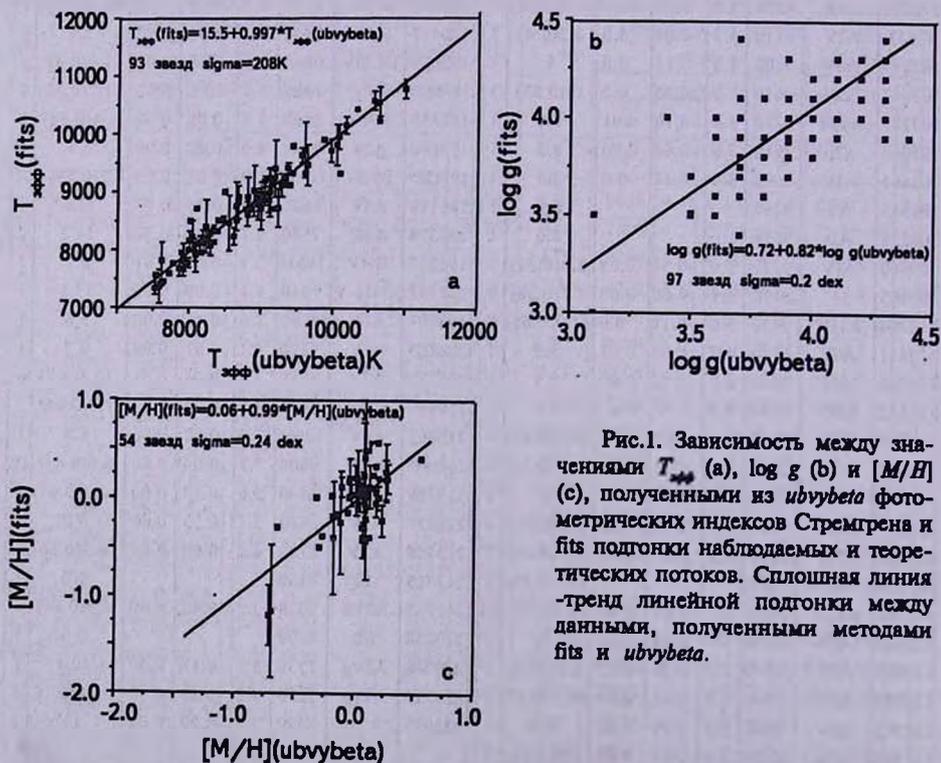


Рис.1. Зависимость между значениями  $T_{\text{эфф}}$  (a),  $\log g$  (b) и  $[M/H]$  (c), полученными из  $ubv\beta$  фотометрических индексов Стремгрена и fits подгонки наблюдаемых и теоретических потоков. Сплошная линия - тренд линейной подгонки между данными, полученными методами fits и  $ubv\beta$ .

приведены диаграммы сравнения этих параметров. На каждой диаграмме приведены: функциональный вид линейной зависимости между однотипными параметрами, полученными этими двумя методами, количество использованных при этом звезд и стандартное отклонение разброса данных. На диаграммах сплошной линией отмечен тренд линейной подгонки между данными соответствующих параметров, полученных методами *fits* и *ubvbeta*.

Как видно из рис. 1a, имеется хорошее соответствие между оценками  $T_{\text{eff}}$ , полученными этими двумя методами, что позволяет проводить дальнейший анализ, используя данные только одного метода, *ubvbeta*. Средняя величина разницы и стандартное отклонение для  $T_{\text{eff}}$ , полученных этими двумя методами, составляет - 42 К и 180 К и находится в согласии с оценкой систематических различий между *fits* и *ubvbeta* оценками для  $T_{\text{eff}}$  [12].

Согласно рис. 1b, имеется большой разброс в оценках  $\log g$ , полученных методами *fits* и *ubvbeta*. Однако этот разброс находится в пределах спектральной/фотометрической ошибки оценки  $\log g$  (0.2 dex), что позволяет проводить дальнейший анализ, используя данные одного метода, *ubvbeta*.

Сравнение *fits* и *ubvbeta* оценок  $[M/H]$  на рис. 1c показывает большой разброс *fits* данных как для одной и той же звезды, так и по всей прямой линейной подгонки (сплошная линия). Тем не менее, имеется хорошая корреляция между обеими оценками  $[M/H]$  и дальнейший анализ проводится на основе данных одного метода, *ubvbeta*.

5. *Анализ мощности спектральной полосы 2786-2810 Å и линии 4481 Å MgII.* Для идентификации химически пекулярных А-звезд мы анализируем наши измерения эквивалентных ширин спектральной полосы 2786-2810 Å в зависимости от основных параметров А-звезд. Основным, если не единственным, критерием классификации химически пекулярных звезд долгое время было поведение линии 4481MgII. Для большей убедительности в результатах наших исследований мы подвергли анализу эквивалентные ширины также этой линии, для чего использованы однородные данные Абта и Морелла [31].

В табл.1 для всех 137 программных звезд приведены средние величины и стандартные отклонения (в скобках) наших измерений  $W(2800)$  (столбец 7) и количество спектров (столбец 8), использованных для определения этих величин. Поскольку значения основных параметров звезд, полученные двумя разными методами *fits* и *ubvbeta*, находятся в согласии друг с другом, дальнейший анализ зависимости  $W(2800)$  и  $W(4481)$  от этих параметров проводится, используя только их фотометрические  $T_{\text{eff}}$  (*ubvbeta*),  $\log g$  (*ubvbeta*) и  $[M/H]$  (*ubvbeta*) оценки (столбцы 3-5 табл.1), (далее  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$  и  $[M/H]$ ).

На рис.2 приведены две диаграммы, оси абсцисс которых одинаковые и соответствуют  $T_{\text{eff}}$ . На диаграмме (а) - по оси ординат нанесены

наблюдаемые значения  $W(2800)$  (столбец 7 табл.1) с барирами стандартных отклонений для 137 программных звезд. Там же в виде сплошной линии показана эмпирическая зависимость между  $W(2800)$  и  $T_{эфф}$  для 24 звезд-

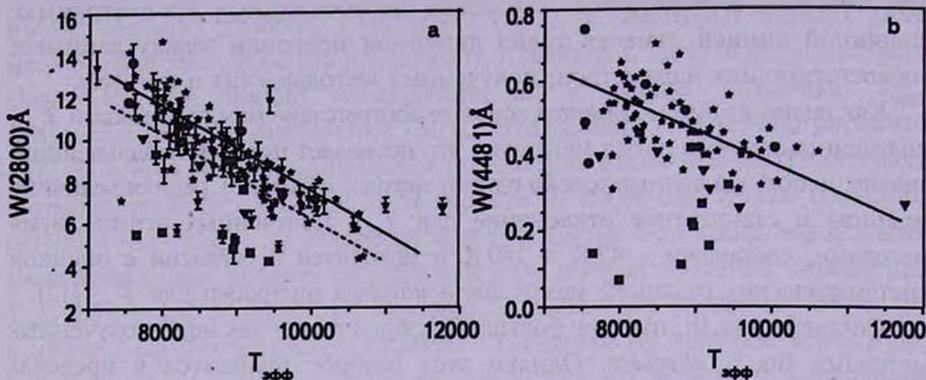


Рис.2. Диаграмма (а): зависимость наблюдаемых значений  $W(2800)$  от  $T_{эфф}$ . Сплошная линия линейная подгонка наблюдаемых значений  $W(2800)$  для 24 звезд-стандартов, формула (1), штриховая линия - эмпирическая зависимость, полученная Солано и Паунцен [27]. Диаграмма (б): зависимость наблюдаемых значений  $W(4481)$  [31] от  $T_{эфф}$ . Сплошная линия - линейная подгонка наблюдаемых значений  $W(4481)$  для 19 звезд-стандартов, формула (2). Звезды на обеих диаграммах изображены символами: программные - звездочки,  $\lambda$  Boo- квадраты, Ar(4481MgIwk) - треугольнички и Am-кружки.

стандартов, отмеченных в табл.1 звездочкой рядом с их HD номером. В качестве звезд-стандартов выбраны МК-звезды с солнечным содержанием металлов. Функциональный вид этой зависимости следующий:

$$W(2800) = 14.6 - (T_{эфф} - 6500)/500 \quad (1)$$

со стандартным отклонением  $\sigma = 0.45 \text{ \AA}$ . Она отличается от аналогичной зависимости, полученной Солано и Паунцен (далее СиП) [27] по данным архива INES для 30 звезд (15 -стандартов, 12 -  $\lambda$  Boo и 3 -FHB), значением свободного члена, который у нас равен 14.6 вместо 13-ти у СиП [27]. На диаграмме (а) рис.2 зависимость (СиП) показана штриховой линией.

На диаграмме (б) рис.2 представлено распределение значений эквивалентной ширины  $W(4481)$  в зависимости от  $T_{эфф}$ . Там же в виде сплошной линии показана эмпирическая зависимость между  $W(4481)$  и  $T_{эфф}$ , полученная для тех же звезд-стандартов (табл.1). Функциональный вид этой зависимости следующий:

$$W(4481) = 1.3 - 0.9 \times T_{эфф} \quad (2)$$

со стандартным отклонением  $\sigma = 0.04 \text{ \AA}$ .

Картина распределения зависимости  $W(2800)$  и  $W(4481)$  от  $T_{эфф}$  практически одинаковая на обеих диаграммах рис.2 для всех групп звезд: во-первых, большинство программных и Am-звезд равномерно разбросаны по обе стороны сплошной линии в пределах  $\pm 1.6 \text{ \AA}$  и  $\pm 0.12 \text{ \AA}$ ; во-вторых,  $\lambda$  Boo и Ar(4481wk) звезды располагаются в области больших дефицитов

$W(2800)$  и  $W(4481)$ , т.е. достаточно далеко от эмпирической зависимости  $W(2800)$  и  $W(4481)$  от  $T_{\text{eff}}$ , рассчитанных по формулам (1) и (2), (сплошные линии на обеих диаграммах).

Изучение зависимости наблюдаемых  $W(2800)$  и  $W(4481)$  от  $\log g$  и  $[M/H]$  проводилось путем предварительного деления звезд на 6 подгрупп в области  $T_{\text{eff}}$  от 7500 до 11000 К. Внутри каждой подгруппы зависимость  $W(2800)$  и  $W(4481)$  как от  $\log g$ , так и от  $[M/H]$  не обнаружена. Таким образом, можно констатировать: эквивалентная ширина  $W(2800)$  и  $W(4481)$  зависит только от  $T_{\text{eff}}$ .

**6. Результаты.** Как отмечалось выше, функциональный вид эмпирических зависимостей между  $W(2800)$  и  $T_{\text{eff}}$  для звезд-стандартов у нас и в [27] разнятся лишь значением свободного члена. Задача, которую ставили перед собой авторы [27] - определение критериев идентификации только звезд типа  $\lambda$  Boo. В результате их исследований обнаружено, что у звезд типа  $\lambda$  Boo наблюдаемые значения  $W(2800)$  меньше вычисленных. Мы расширяем границы исследований и ставим перед собой задачу выделения пекулярных звезд, у которых отклонения наблюдаемых значений  $W(2800)$  и  $W(4481)$  от эмпирических зависимостей для звезд-стандартов могут быть как в дефиците, так и в избытке. Для этого были получены эмпирические зависимости {формулы (1) и (2)} между наблюдаемыми  $W(2800)$ ,  $W(4481)$  и  $T_{\text{eff}}$  для звезд-стандартов. Разница между свободными членами в формулах (1) и у СиП 1.6 Å практически равна трехкратной величине стандартного отклонения ( $|\Delta W| = 1.4 \text{ Å}$ ). В результате звезды с дефицитом металлов  $\lambda$  Boo и Ar(4481wk) на диаграмме рис.2а расположены как ниже штриховой линии, так и намного ниже сплошной линии. Это обстоятельство позволяет, используя формулу (1), проводить анализ наблюдаемых  $W(2800)$  остальных 113 программных звезд. Аналогичный анализ в отношении этих звезд проведен, используя формулу (2) и данные об эквивалентных ширинах  $W(4481)$  [31]. В результате этого анализа выделены 60 звезд, значения  $W(2800)$  и/или  $W(4481)$  которых отклоняются от формул (1) и (2) на соответствующие  $\pm 3\sigma$ . В табл.2 приведен список этих звезд, укомплектованных в два блока и разделенных между собой жирной горизонтальной линией.

Первый блок состоит из 49 звезд и составлен следующим образом. Применяя критерий  $\pm 3\sigma$  ( $\pm 1.4 \text{ Å}$ ) и ужесточив его до значений  $\pm 1.6 \text{ Å}$  к разностям  $\Delta W(2800)$  (столбец 3 табл.2) между наблюдаемыми и вычисленными по формуле (1) значениями  $W(2800)$ , выделено 37 объектов, которые с вероятностью более 99% - кандидаты в пекулярные звезды. К этим 37 звездам мы добавили еще 5, у которых абсолютная разница  $|\Delta W(2800)| < 1.6 \text{ Å}$ , но  $\geq 1.4 \text{ Å}(3\sigma)$ , а также 7 звезд, для которых разница между наблюдаемыми и вычисленными по формуле (2) значениями  $W(4481)$  подчиняется соотношению  $|\Delta W(4481)| \geq 0.12 \text{ Å}(3\sigma)$  (столбец 4 табл.2). В первый блок

ЗВЕЗДЫ С АНОМАЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ  
 $W(2800)$ ,  $W(4481)$  И  $[M/H]$

HD	Отметки	Разница между наблюдем. и вычислен. $W(\lambda)$		$[M/H]$ fits	$T_{\text{eff}}$ fits	$V \sin i$ [31]
		$\Delta W(2800)$	$\Delta W(4481)$			
1	2	3	4	5	6	7
Первая группа						
256	Ash	-2.41	-0.27			220
12279	CP(4481wk)	-1.64	-0.02			255
18331		-2.7	-0.07			220
18622	CB	-2.15	-0.13			-
31295	$\lambda$ Boo, CP	-4.84	-0.27	-0.5 + -1.31[6,19,20,21]	8872[6],8611[19]	105
39283	$\lambda$ Boo, CP(4481wk)	-2.8	-0.12	-0.12[20]		55
65810		-1.61	0.02			251
70340	CP(CaMgwk)	-0.88	-0.17			25
103287		-1.69	0	-0.19[20]	9272 + 9500[12,15,18,19,22]	165
109995	FHB	-5.44		-0.12 + -1.99[20]		-
110411	$\lambda$ Boo,CP(4481wk),SB	-4.40	-0.28	-1.0[24]	8729[22]	140
111786	$\lambda$ Boo,CB	-6.74	-0.47	-1.6,-2.05[20,24]		135
125162	$\lambda$ Boo,Vega	-4.46	-0.39	0.1 + -2.05[6,12,19,28]	8512-8700[6,12,19,28]	110
148283		-0.65	-0.19			260
155125	CP	-0.25	-0.14	-0.1[17]	8788[17],8740[22]	15
159541	Am(A3/F0/F0)	-0.67	-0.12	-0.15[21]		75
161868	CP(4481wk), CB	-2.94	-0.16	-0.18[6],-0.81[19]	9100 + 10340[6,12,14,15,19,22]	185
170680	$\lambda$ Boo, CP, CB	-4.48	-0.13			200
172167	Vega	-3.56	-0.13	0.2 + -1.36[19,20,21]	9519 + 9660[14,15,18,19,21,25]	15
176437		-2.31	-0.09	0.11[20]		60
179648		-1.38	-0.07			190
183324	$\lambda$ Boo,CP	-4.59	-0.31	-1.5[24]		105
192640	$\lambda$ Boo, CP(4481wk)	-5.99	-0.51	-0.5 + -1.81[20,21,24]	7744[21]	35
210418	$\lambda$ Boo, SB	-3.55	-0.09	-0.38[17],-0.19[21]	8569[17],8570[21]	180
216627	CP(4481wk)	-1.78	-0.12	-0.15[20]	8450[22]	70
217782	$\lambda$ Boo, SB	-2.91	-0.09		8500[15],11800[23]	195
220278	$\lambda$ Boo, CP(Mgwk),CB	-1.99	-0.2			160
221756	$\lambda$ Boo, CP(4481wk)	-1.82	-0.48	-0.5[20]		75
27749	Am(A2/F0/F2)	1.35	0.23			15
27819		1.5	-0.01	0.27[16]	8050[16]	45
28319		3.2	0.04	0.26[16]	7830[16]	80
28910	-CB	1.53	0.02		7700[23]	130
157792	CP, Am(A3/F0/F3)	0.08	0.12	0.05[21]	7261[21]	68
175640	CP(CaMgwk)	2.71	0.03	-0.3 + -0.55[20]		<10
Вторая группа						
9672	Vega	-2.13	0.12			195
10982		-1.99				33[32]
12467		-2.68				-
31069		-1.77				-
32977		0.39	-0.17			100

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
74956	CB	-1.64		-0.33[17]	9021[18], 9320[23]	150[32]
77557		-1.68				-
105058	$\lambda$ Boo	-2.45				130
119921		-1.64				-
149630		-1.93	-			303[32]
186417		-5.57				-
196180		1.29	-0.13	0.13[21]	8336[21]	85
196379		1.72	-0.14	-0.12[20]		21
23324		1.42				-
110304		3.18		- 0.29[19]	9082[18]	-
27962	CP,SB	0.96	0.03		9000[12]	15
29573	Am(A1/A3/A3), CB	-0.82	0.02			31
38090	Ash	-1.27	-0.09			205
71155		-1.04	0	-0.44[19]	9556[19]	115
95608	Am(A1/A2/A3)	0.95	-0.06			13
102647		-0.23	0.05	0.25 + -0.41[6,13,21]	8366 + 8720[6,19,21,22]	115
109860		0.33	-0.02			60
141851	$\lambda$ Boo, CP(4481wk)	-1.16	-0.09	-1.87[20]		185
161817	FHB	-1.09		-0.54 + -1.71[20]		-
169022	$\lambda$ Boo	-1.24				222[32]
178253		0.29		-0.32[17],0.32[21]	8950[17],8830[21]	195[32]

вошли как отдельные звезды, так и звезды в группах с определенными физическими и кинематическими особенностями (столбец 2 табл. 2): CP(Ap) - 7 и CB - 5, соответственно - химически пекулярные и тесные двойные системы,  $\lambda$  Boo звезды - 15, Vega-типа - 2, FHB - 2, Am - 4 [31-33]. За несколькими исключениями, значения  $W(2800)$  и  $W(4481)$  у большинства звезд в дефиците, а сами звезды имеют следующие общие характеристики:  $T_{\text{eff}}$  ниже 9500 K, содержание металлов, как в дефиците/избытке, так и нормальное - солнечное (столбцы 5 табл.1 и 2); значения  $V \sin i$  (проекция скорости вращения) (столбец 7 табл.2) [31,32] находятся в широком диапазоне от 10 до 300 км/с и имеется тенденция уменьшения скорости вращения с увеличением  $| \Delta W(2800) |$  и  $| \Delta W(4481) |$ . Звезды первого блока (49) могут быть разделены на две группы. В первую группу вошли 34 звезды, для которых имеются измерения  $W(2800)$ , и  $W(4481)$  и верны соотношения  $| \Delta W(2800) | \geq 1.4 \text{ \AA}(3\sigma)$  и/или  $| \Delta W(4481) | \geq 0.12 \text{ \AA}(3\sigma)$ , а значения  $[M/H]$  для большинства аномальные (столбцы 5 табл.1 и 2). У 34 (28/6) звезд обе детали наблюдаются в дефиците/избытке и находятся в корреляции друг к другу. В табл.2 звезды приведены в следующем порядке: вначале звезды с дефицитом, затем с избытком. Согласно многочисленным наблюдениям в оптической и ультрафиолетовой областях спектра, 22 звезды первой группы химически пекулярные (столбец 2 табл.2). Тогда, общность поведения

$W(2800)$  и  $W(4481)$  всех 34 звезд первой группы, высокий процент химически пекулярных среди них, позволяет предположить, что остальные 12 звезд этой группы также химически пекулярные.

Остальные 15 (13/2) звезд первого блока вошли во вторую группу и в табл.2 приведены в той же последовательности: вначале звезды с дефицитом, а затем с избытком  $W(2800)$  и/или  $W(4481)$ . Пекулярная особенность звезд этой группы выражается либо в антикорреляции значений  $\Delta W(2800)$  и  $\Delta W(4481)$  друг к другу, либо в аномальном значении эквивалентной ширины одной из спектральных деталей, вместе с тем у этих звезд значения  $[M/H]$  (столбцы 5 табл.1 и 2) аномальные.

Второй блок содержит 11 звезд, пекулярность которых основывается на дефиците/избытке  $\text{fits}$  или  $\text{ubvubeta}$  оценок  $[M/H]$  (столбцы 5 табл.1 и 2), в то же время их  $\Delta W(2800)$  и  $\Delta W(4481)$  в пределах  $\pm 3\sigma$ . Среди звезд второго блока также имеются химически пекулярные звезды: две  $\lambda\text{Boo}$ , одна  $\text{CP}$  и одна  $\text{Am}$ .

7. *Обсуждение.* Таким образом из 137 программных звезд 60 имеют аномальные значения  $W(2800)$ , и/или  $W(4481)$ , и/или  $[M/H]$ . У 37 звезд  $|\Delta W(2800)| \geq 1.6\text{\AA}$ , у 24  $|\Delta W(4481)| \geq 0.12\text{\AA}$ , у 17 дефицит наблюдается в обоих спектральных деталях. Значения  $W(2800)$  и  $W(4481)$  этих звезд наблюдаются в дефиците у 34 и 21, в избытке у 3 и 3, соответственно. Наблюдаемые отклонения значений  $W(2800)$  и  $W(4481)$  от эмпирических зависимостей для звезд-стандартов от  $T_{\text{eff}}$  могут отражать физическую и/или кинематическую пекулярности. В то же время, не исключена тривиальная причина - ошибка в оценке основных параметров при анализе  $W(2800)$  и  $W(4481)$ . Это, в первую очередь, относится к  $T_{\text{eff}}$ , поскольку ее неточности влияют и на вычисления  $W(2800)$  и  $W(4481)$  по формулам (1) и (2), и на оценки  $[M/H]$ . Разница в оценке  $T_{\text{eff}}$ , полученная методами  $\text{fits}$  (столбец 6 табл.2) и  $\text{ubvubeta}$  (столбец 3 табл.1) не влияет существенно на значения  $\Delta W(2800)$  и  $\Delta W(4481)$  и соответственно не дает повода для сомнений в их классификации как пекулярных звезд.

Из диаграммы рис.3а, где показано распределение  $\Delta W(2800)$  в зависимости от  $\Delta W(4481)$  для всех звезд табл.2, можно получить наглядное представление о различиях в механизме, ответственном за наблюдаемые пекулярности у звезд первого и второго блоков. На диаграмме сплошными и точечными линиями показаны нулевые и  $\pm 3\sigma$  ( $\pm 1.6\text{\AA}$  и  $\pm 0.12\text{\AA}$ ) значения  $\Delta W(2800)$  и  $\Delta W(4481)$ , соответственно. Звезды второго блока расположены в области, ограниченной точечными линиями (заштрихованный прямоугольник), а звезды первого блока вне этой области. Как видно из этой диаграммы, звезды  $\lambda\text{Boo}$  (13 из 15),  $\text{CP}$  (6 из 7) и  $\text{Am}$  (1 из 6) находятся в области взаимопропорциональных изменений  $\Delta W(4481)$  и  $\Delta W(2800)$ . Положение остальных 5  $\text{Am}$ -звезд на диаграммах рис.2 и

рис.3 подтверждает известный факт о незначительном избытке металлов железного ряда у этого класса звезд.

В качестве положительного примера перспективности дальнейшего использования этого метода для идентификации пекулярных звезд рассмотрим результат анализа HD175640. У этой звезды зафиксирован большой излишек  $W(2800)$

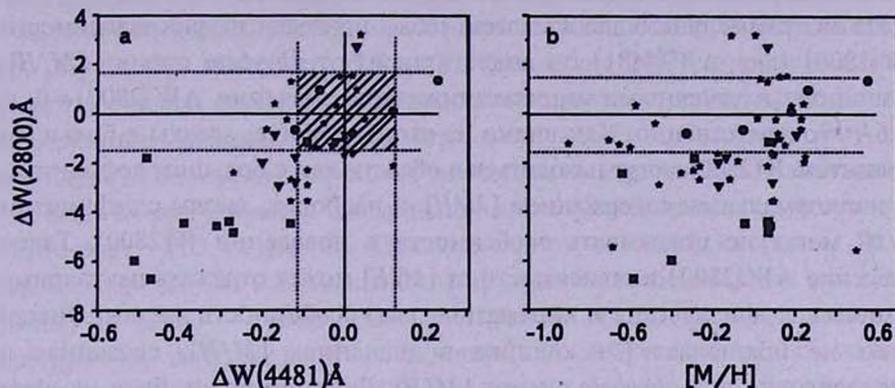


Рис.3. Диаграмма (а): зависимость между  $\Delta W(2800)\text{\AA}$  и  $\Delta W(4481)\text{\AA}$ , разницы между наблюдаемыми и вычисленными по формулам (1) и (2)  $W(2800)$  и  $W(4481)$ . Сплошные линии - уровень отсутствия разницы, точечные линии - уровень разницы  $\pm 1.6\text{\AA}$  и  $\pm 0.12\text{\AA}$ , соответственно для  $W(2800)$  и  $W(4481)$ . Диаграмма (б): зависимость между  $\Delta W(2800)\text{\AA}$ , разницей между наблюдаемым и вычисленным по формуле (1)  $W(2800)$  и  $[M/H]$ . Сплошная линия - уровень отсутствия разницы, точечные линии - уровень разницы  $\pm 1.6\text{\AA}$ . Символы обозначений звезд такие же как на рис.2.

по сравнению с вычисленной по формуле (1) для  $T_{\text{eff}} = 11760\text{ K}$ , ( $\Delta W(2800) = 2.6 + 3.2\text{\AA}$ ). В то же время значение  $W(4481)$  нормальное для  $T_{\text{eff}}$  этой звезды. Кажущееся противоречие между этими данными вполне объяснимо. Сверхобилие Mg и Hg в атмосфере этой звезды настолько сильное (соответственно на 2 и 4 dex) [34], что линии этих элементов в интервале детали 2786-2810 Å не только сводят на нет эффект недостаточности магния (-0.2 dex) [29], но и создают мощную деталь и обманчивое представление об избытке магния. В то же время вполне понятно отсутствие дефицита в  $W(4481)$ , так как незначительный недостаток магния у этой звезды трудно фиксировать настоящим методом. Этот метод позволяет выявлять звезды с аномальным содержанием как магния, так и других элементов, которые имеют линии в полосе 2786-2810 Å, а поведение линии 4481MgII подтверждает или опровергает связь этой пекулярности с отклонениями в содержании магния.

Из 60 кандидатов в пекулярные звезды 26 (15 из второй группы первого блока и 11 из второго блока) имеют неоднозначные параметры  $\Delta W(2800)$ ,  $\Delta W(4481)$  и  $[M/H]$ . Среди них одна  $\lambda$  Boo-звезда HD141851 (звезда второго блока) не показывает дефицит ни  $W(2800)$ , ни  $W(4481)$ , что в согласии с солнечной металличностью звезды по нашим *ubvybeta* оценкам  $[M/H]$ , однако fits оценка  $[M/H]$  (-1.87 dex) [20] указывает на огромный дефицит металла в атмосфере этой звезды. В списке аномальных звезд табл.2 имеются две

FHB (HD109995 и 161817) звезды. Значения  $[M/H]$  по fits (столбец 5 табл.2) и *ubv*beta (столбец 5 табл.1) оценкам соответствуют большому дефициту металлов в их атмосферах, что отражается в сильном дефиците ( $\Delta W(2800) = -5.44\text{\AA}$ ) у HD109995, в то время как  $W(2800)$  у HD161817, хотя и в дефиците ( $\Delta W(2800) = -1.1\text{\AA}$ ), но в пределах  $3\sigma$ .

На диаграмме рис.3b для всех звезд табл.2 приведен график зависимости  $\Delta W(2800)$  (для  $\Delta W(4481)$  он аналогичный) от *ubv*beta оценки  $[M/H]$ . Сплошной и точечными линиями показаны значения  $\Delta W(2800) = 0$  и  $\pm 1.6\text{\AA}$ , соответственно. Как видно из этого графика, звезды с большим дефицитом  $W(2800)$  могут находиться в области как с большим дефицитом, так и с нормальным содержанием  $[M/H]$ , и наоборот, звезды с дефицитом  $[M/H]$  могут не показывать особенности в поведении  $W(2800)$ . Такое поведение  $\Delta W(2800)$  в зависимости от  $[M/H]$  может отражать пекулярные (химическая, физическая и кинематическая) особенности звезды. Вместе с тем не исключается и ошибка в значениях  $[M/H]$ , связанная с методологией fits и *ubv*beta оценок  $[M/H]$ . Действительно, fits и *ubv*beta оценки  $[M/H]$  для общих звезд (столбцы 5 табл.1 и 2) имеют большой разброс значений от совпадения до больших различий как в положительную, так и отрицательную стороны. Достаточно большой разброс имеет место и внутри самих fits оценок  $[M/H]$ .

Отсутствие согласия между оценками металличности, полученными двумя разными методами, а также большой разброс данных других параметров ( $T_{\text{эфф}}$ ,  $[M/H]$ ,  $V \sin i$ , Галактические координаты), могут быть реальными и отражать разнообразие физических и/или кинематических условий атмосферы звезд табл.2. Оценки  $[M/H]$  из спектрального анализа имеют большой разброс, достигая 2 dex, меняют знак и только в нескольких случаях находятся в соответствии с фотометрической оценкой. Среди звезд табл.2 имеются случаи несоответствия между параметрами, полученными из спектрального анализа и (*ubv*beta) фотометрических индексов. Ни одна теория, предложенная для объяснения сильного ослабления линий металлов в спектрах звезд  $\lambda$  Boo: диффузия/потеря массы, аккреция газа, выдувание пыли и т.д., не смогла объяснить картину всего разнообразия наблюдаемых особенностей у этих звезд: немагнитная пульсация, переменность радиальных скоростей, широкий разброс скоростей вращения, избыток металлов, наличие пылевых и/или газовых оболочек. Все перечисленное позволяет нам апеллировать к известному факту: вероятная причина непонятного в поведении большинства параметров звезд заключается в их кратной природе. Так, солнечная металличность из *ubv*beta оценок химически пекулярной двойной звезды HD110411 [19,20] находится в противоречии с сильным дефицитом металлов из fits оценок [24] и с сильным дефицитом в наблюдаемых значениях  $W(2800)$  и  $W(4481)$ . Среди всех  $\lambda$  Boo-звезд самый большой дефицит  $W(2800)$

$\{\Delta W(\text{ubv}\beta) = -6.8\text{\AA}\}$  зафиксирован у HD111786. Подозрения на кратную природу этой звезды получили подтверждение наблюдениями миссии Hipparcos и оптических спектров с высоким разрешением [35]. Интенсивное и всестороннее изучение 137 кандидатов в  $\lambda$  Boo-звезды с применением современной наблюдательной техники: данных Hipparcos, адаптивной оптики, спектроскопии с высоким спектральным и угловым разрешением, позволили Фараджиану и др. [36] сделать вывод, что более 17% (возможно 28%) звезд этой группы имеют составной спектр и эта цифра имеет серьезные предпосылки к росту. В результате кратная природа этих звезд может привести к тому, что некоторые  $\lambda$  Boo-звезды могут быть химически непекулярными. Наши данные для звезд с более широким представительством пекулярных групп фактически повторяют этот результат. Действительно, с одной стороны, из 36 зарегистрированных нами звезд с спектральными особенностями (столбец 2 табл.2) 10 (28%) - члены кратных систем, с другой стороны, среди 137 программных звезд - 38 двойных, из которых 14 (37%) показывают аномальные значения  $W(2800)$  и/или  $W(4481)$ . Эти цифры - совпадение или отражение действительности? Если верно последнее, то каждая третья двойная звезда должна показывать аномальное значение  $W(2800)$ , а каждая третья звезда с аномальным значением  $W(2800)$  - двойная.

В табл.2 имеются, по крайней мере, три звезды "типа-Вега": HD 9672, 172167 (Вега) и 125162 ( $\lambda$  Boo). Эти звезды одиночные и обнаруженный у них сильный дефицит  $W(2800)$  и  $W(4481)$  скорее всего связан с зарегистрированными у них мощными газо/пылевыми дисками и вызван эффектом контаминации при взаимопроникновении околозвездной среды в атмосферу звезды. 76 звезд табл.1 исследованы на IRAS волнах, из них 20 (26%) показывают пекулярное поведение  $W(2800)$ . Сильный дефицит в наблюдаемых  $W(2800)$  коррелирует с пылевыми дисками протяженностью от 7 до 400 радиусов звезды, однозначно, у 6-ти и, вероятно, у 9-ти из 21 звезды табл.1 [18].

Таким образом, основным результатом настоящих исследований является обнаружение 32 новых кандидатов в пекулярные звезды. Возможные причины наблюдаемых пекулярностей могут быть связаны с аномальным содержанием элементов в атмосфере звезды, и/или существованием вокруг звезды газо-пылевых дисков, и/или кратной природой объектов. Для выяснения физической или кинематической природы аномальных случаев  $W(2800)$  необходимо проведение тщательного качественного и количественного анализа всех линий в границах спектральной детали 2786-2810  $\text{\AA}$ , а также других резонансных линий в оптической и ультрафиолетовой областях спектра.

Для семи программных звезд, используя наблюдаемые значения  $W(2800)$  и формулу (1), определены их  $T_{\text{эфф}}$ , которые приведены в столбце 3 табл.1 жирным шрифтом. У четырех из них (HD 6539, 127557, 217715 и 219238) имеется несоответствие между спектральным классом в каталоге HD и

нашей оценкой  $T_{\text{эф}}$ . Эти случаи требуют тщательного изучения.

8. *Выводы.* Анализирована эквивалентная ширина спектральной полосы 2786-2810 Å и линии 4481MgII у 137 ярких А-звезд на основе УФ-спектров с высоким разрешением из архива INES и данных Абта и Моррелла [31]. Выявлена эмпирическая зависимость между эквивалентной шириной этих деталей и эффективной температурой для звезд-стандартов. Используя функциональный вид этих зависимостей, выделены 49+11 пекулярных звезд, у которых значения всех или одного из следующих параметров  $W(2800)$ ,  $W(4481)$  и  $[M/H]$  находятся в дефиците/излишке для своего спектрального класса. Дефицит и излишек  $W(2800)$  и/или  $W(4481)$  впервые зарегистрирован у 31 и 4 программных звезд, соответственно. Звезды с аномальным поведением  $W(2800)$  и/или  $W(4481)$  имеют широкое представительство. Это звезды λ Boo, звезды со слабой линией 4481MgII, оболочечные, переменные, двойные и т.д. На примере большой группы звезд с дефицитом металлов (13 λ Boo-звезд и 6 звезд со слабой линией 4481MgII) показана перспективность применения этого метода для идентификации пекулярных А-звезд. Для семи звезд по измеренным значениям  $W(2800)$  оценены  $T_{\text{эф}}$  и соответствующие им спектральные классы.

Автор выражает благодарность рецензентам за внимательное прочтение работы и ценные замечания.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,  
Армения, e-mail: hjulia@bao.sci.am

## IDENTIFICATION OF PECULIAR A-STARS. I. ANALYSIS OF EQUIVALENT WIDTHS OF A SPECTRAL DETAIL 2786-2810 Å AND OF A LINE 4481MgII FOR 137 A-STARS

J.B. OHANESYAN

The dependence of equivalent widths of a spectral band  $\lambda\lambda 2786-2810\text{\AA}$  and the line  $\lambda 4481\text{MgII}$  in the spectra of 137 bright A-type stars on the basic parameters ( $T_{\text{эф}}$ ,  $\log g$  and  $[M/H]$ ) showed that 60 of them are candidates to peculiar stars. Taking into account the similarity of variations of  $W(2800)$  and  $W(4481)$ , one may conclude that 34 of these 60 stars are chemically peculiar ones. The mentioned equivalent widths as well as  $[M/H]$  of the rest part of stars (26) vary within wide limits caused possibly by double nature of them.

Key words: stars: peculiar: spectra

## ЛИТЕРАТУРА

1. *K.A.Venn, D.L.Lambert*, *Astrophys. J.*, 363, 234, 1990.
2. *V.V.Smith, K.Cunha, D.Lazzaro*, *Astron. J.*, 121, 3207, 2001.
3. *R.G.Gratton, G.Bonanno, R.U.Claudi et. al.*, *Astron. Astrophys.*, 377, 123, 2001.
4. *R.Farragiana, P.Bonifacio*, *Astron. Astrophys.*, 349, 521, 1999.
5. *D.Hoffleit, Jr.W.H.Warren*, *The Bright Star Catalogue 5-th Revised Edition*, 1991.
6. *A.C.Prieto, D.L.Lambert*, *Astron. Astrophys.*, 352, 555, 1999.
7. *C.Morossi, P.Di.Marcantonio, M.Franchini et.al.*, *Astrophys. J.*, 577, 377, 2002.
8. *P.Erspamer, P.North*, *Astron. Astrophys.*, 383, 227, 2002.
9. *T.T.Moon*, *Comm. Univ. Lon.*, N78, 1985.
10. *B.Hauck, M.Mermilliod*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 129, 431, 1998.
11. *B.Smalley*, *Astron. Astrophys.*, 274, 391, 1993.
12. *S.J.Adelman, O.I.Pintado, M.F.Nivea et. al.*, *Astron. Astrophys.*, 392, 1031, 2002.
13. *M.L.Malagnini, C.Morossi, L.Rossi et. al.*, *Astron. Astrophys.*, 162, 140, 1986.
14. *M.L.Malagnini, C.Morossi*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 85, 1015, 1990.
15. *E.Theodossiou*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 214, 327, 1985.
16. *R.O.Gray, P.W.Graham, S.R.Hoyt*, *Astron. J.*, 121, 2159, 2001.
17. *R.O.Gray, C.J.Corbally, R.F.Garrison et. al.*, *Astron. J.*, 132, 161, 2006.
18. *Дж.Б.Оганесян*, *Астрофизика*, 40, 365, 1997.
19. *R.O.Gray, C.J.Corbally, R.F.Garrison et. al.*, *Astron. J.*, 126, 2048, 2003.
20. *C.G. de Strobel, C.Soubiran, E.D.Friel et. al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 124, 299, 1997.
21. *D.Erspamer, P.North*, *Astron. Astrophys.*, 398, 1121, 2003.
22. *N.A.Sokolov*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 110, 553, 1995.
23. *S.J.Adelman*, *Astrophys. J.*, 222, 547, 1978.
24. *S.Sturenburg*, *Astron. Astrophys.*, 277, 139, 1993.
25. *A.D.Code, R.C.Bless, J.Devis et. al.*, *Astrophys. J.*, 203, 417, 1976.
26. *E.Paunzen, W.W.Weiss, U.Heiter et. al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 123, 93, 1997.
27. *E.Solano, E.Paunzen*, *Astron. Astrophys.*, 348, 825, 1999.
28. *F.Castelli, R.Kurucz*, *Astron. Astrophys.*, 372, 260, 2001.
29. *K.C.Smith*, *Astron. Astrophys.*, 276, 393, 1993.
30. *U.Heiter, F.Kupka, E.Paunzen et. al.*, *Astron. Astrophys.*, 335, 1009, 1998.
31. *H.A.Abt, N.Morrell*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 99, 135, 1995.
32. *F.Royer, J.Zorec, A.E.Gomez*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 463, 671, 2007.
33. *M.Gerbaldi, R.Farragiana, O.Lai*, *Astron. Astrophys.*, 412, 447, 2003.
34. *F.Castelli, S.Hubrig*, *Astron. Astrophys.*, 425, 263, 2004.
35. *R.Farragiana, M.Gerbaldi, P.Bonifacio et. al.*, *Astron. Astrophys.*, 376, 586, 2001.
36. *R.Farragiana, P.Bonifacio, E.Caffau et. al.*, *Astron. Astrophys.*, 425, 615, 2004.