

УДК 524.31.08

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НИЗКОАМПЛИТУДНЫХ ЗВЕЗД ТИПА δ ЩИТА

Д.В. Иванова, А.И. Галеев, В.В. Шиманский, Н.Н. Шиманская

Аннотация

Выполнено исследование трех пульсирующих переменных звезд типа δ Щита. Определены и уточнены параметры атмосфер звезд АО CVn, KW Aur и CP Boo на основе высокоточных спектроскопических данных. Определен химический состав этих звезд методом дифференциального анализа относительно Солнца.

Ключевые слова: звезды δ Sct, химический состав, параметры атмосфер.

Введение

Звезды типа δ Щита – одна из множества групп пульсирующих переменных нашей Галактики. Главная их особенность – близость большинства звезд к главной последовательности на диаграмме Грецшпрунга–Рессела. Эти переменные также обладают короткими периодами (0.02–0.30 сут) и очень малыми амплитудами изменения яркости ($\Delta m_V = 0.01 \div 0.40^m$). Прогресс в использовании современных приемников излучений привел к быстрому росту открытий новых объектов этого типа. Причем изучение переменности звезд типа δ Щита затрудняется в связи с тем, что пульсации этих звезд иногда происходят в нескольких модах, а также их частой двойственностью.

Звезды типа δ Щита имеют пекулярный химический состав. Выделяют две группы короткопериодических цефеид: а) имеющие избыток содержаний для многих или всех элементов, иногда достигающий 1–1.5 dex (20 CVn, δ Sct, γ Boo и др.); б) демонстрирующие химический состав, схожий с неппульсирующими звездами аномального химического состава (Am-звездами), которые лежат в том же районе диаграммы Грецшпрунга–Рессела (δ Del, 44 Tau, ϵ Ser и т. д.) Но последние данные [1] не указывают на четкое разделение звезд на две выделенные группы и возможное выделение подгруппы звезд с дефицитом содержаний элементов с номерами 20–40 (HD 124675, ρ Vir, 28 And). Определенно сказать об особенностях химического состава и сравнить его с содержаниями элементов у Am-звезд можно будет после выполнения детальных исследований химического состава достаточно большого количества звезд. В настоящее время надежные определения химического состава звезд типа δ Щита есть только не более чем для 20 самых ярких объектов. Поэтому необходимо провести по единой методике новое исследование однородной группы звезд данного типа с привлечением более слабых объектов, доступных наблюдениям, в частности, на спектрографах высокой дисперсии крупных телескопов (БТА, РТТ-150) с использованием современных моделей атмосфер и не-ЛТР-анализа отдельных элементов.

В настоящей статье мы описываем результаты наблюдений и обработки спектров первых звезд выборки, представляем параметры атмосфер и содержания химических элементов рассмотренных звезд АО CVn, KW Aur и CP Boo, проводим анализ полученных результатов для каждой звезды с учетом более ранних исследований, а также делаем предварительные выводы.

Табл. 1

Параметры исследуемых звезд

HD	Название звезды	m_V	$B - V$	Δm_V	Период, сут	$V \sin i$, км/с	Спектр. класс
33959A	KW Aur	5.01	0.22	0.08	0.0881	28	A9 IV
115604	AO CVn	4.72	0.31	0.02	0.1217	15	F3 III
127986	CP Boo	6.40	0.51	0.02	0.125	5*	F8 IV

* Из статьи Берначча и Перинотто (1970) [4].

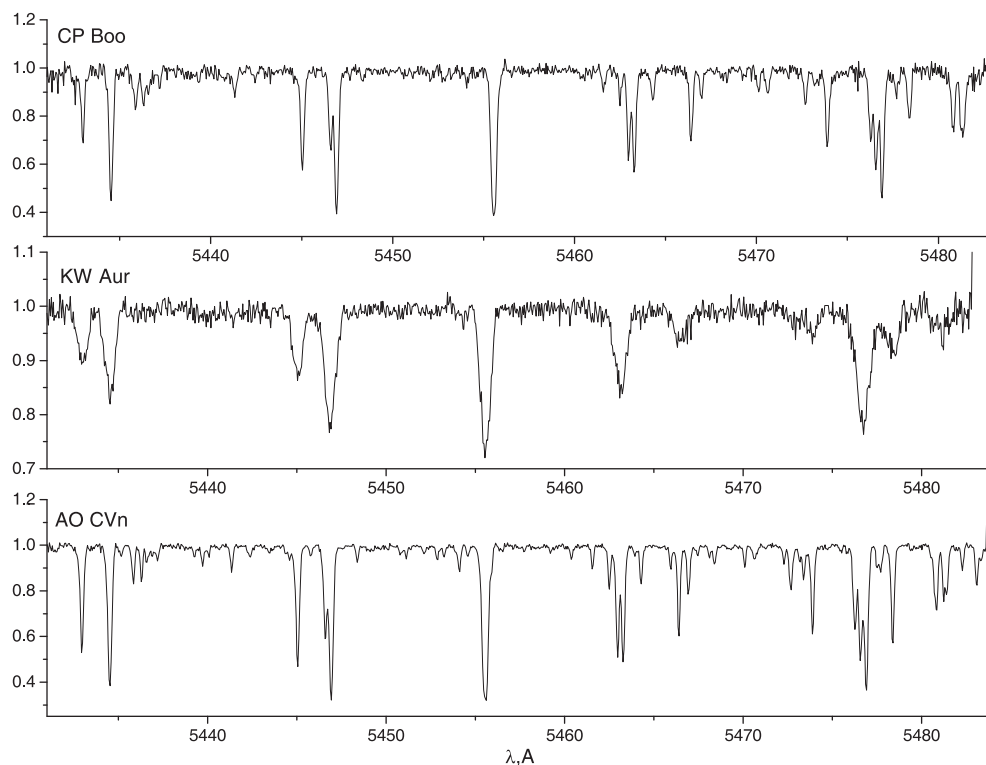


Рис. 1. Участки наблюдаемых спектров исследуемых звезд

1. Наблюдения

Наблюдения трех звезд типа δ Щита из каталога Родригеза и др. (2000) [2] проведены 26–29 января 2006 г. с помощью куде-эшелле спектрографа 1.5-м российско-турецкого телескопа (РТТ-150), установленного в Турецкой национальной обсерватории TUBITAK (вблизи г. Анталии, Турция).

Полученные спектры охватывают диапазон длин волн λ 3900–8900 Å. Первичная обработка спектров включала удаление космических частиц и дефектных пикселей, проведение непрерывного спектра, калибровку длин волн, а также измерение лучевых скоростей и эквивалентных ширин спектральных линий и производилась с применением модифицированного программного пакета DECH20T [3] (см. также <http://www.gazinur.com>).

Информация о наблюдавшихся звездах приведена в табл. 1 и 2, в первой из которых перечислены общие сведения из статьи Родригеза и др. (2000) [2], а во второй для каждой звезды последовательно указаны моменты начала первой экспозиции,

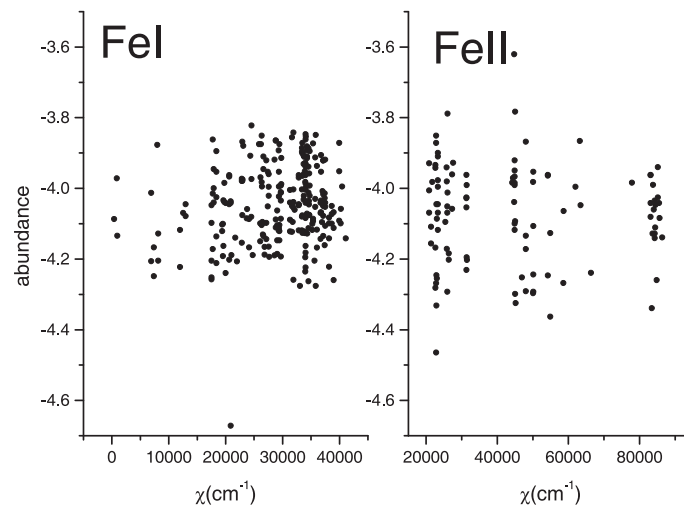


Рис. 2. Зависимость содержания железа от потенциала возбуждения нижнего уровня линий для АО CVn

Табл. 2

Основные параметры наблюдений

Название звезды	Юлианская дата	Число спектров	Время эксп., с	Сигнал/шум
KW Aur	2453763.49855	3	900	110
CP Boo	2453763.92049	2	900	85
АО CVn	2453765.92825	3	600	110

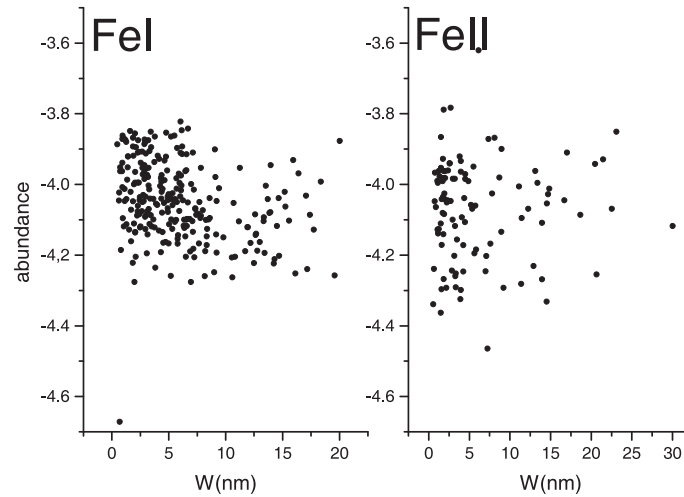


Рис. 3. Зависимость содержания железа от эквивалентных ширин линий для АО CVn

число полученных спектров, время экспозиции в секундах, отношения сигнал/шум в районе 5400 Å. Две звезды относятся к спектральному классу F, а одна, более горячая, A-звезда. Все указанные звезды меняют свою яркость с амплитудой менее 0.1^m в пределах периода переменности 2–3 ч. У переменных с амплитудами более

Табл. 3

Параметры атмосфер исследуемых звезд

Название	Температура, К	$\lg g$	[Fe/H]	ξ_{turb}
KW Aur	7800	3.4	+0.10	2.8
AO CVn	7300	3.2	+0.50	3.2
CP Boo	6320	3.6	+0.16	1.8

$0.2^{\text{m}} - 0.5^{\text{m}}$ должны возникать заметные изменения в спектрах, вызванные изменениями параметров звезды в разные фазы периода. Рассмотренные звезды имеют небольшие скорости вращения. Спектры быстровращающихся звезд требуют особой методики обработки, так как широкие крылья линий создают повсеместное блендирование и заметно занижают непрерывный спектр. Анализ таких спектров требует использования методов построения синтетических спектров.

2. Параметры атмосфер звезд

Для выполнения последующих расчетов были определены фундаментальные параметры звезд, причем для подбора наиболее надежных значений эффективных температур они определялись как фотометрическими, так и спектроскопическими методами.

Значения показателей цвета разных фотометрических систем использовались для определения предварительных значений температур и логарифмов ускорений силы тяжести на поверхности звезд. Затем параметры уточнялись на основе спектроскопических данных. Окончательное значение температуры определялось по наклону зависимости содержания железа, а также других элементов, имеющих достаточное количество наблюдаемых линий, от потенциалов возбуждения нижних уровней линий (рис. 2). Поверхностная сила тяжести вычислялась методом ионизационного баланса (из согласования содержаний, полученных по линиям ионов и нейтральных атомов железа, титана и хрома). Скорость микротурбулентности находилась из условия независимости содержаний железа, найденных по линиям Fe II, от эквивалентных ширин линий. Металличность моделей атмосфер звезд задавалась исключительно по содержанию железа. В табл. 3 приведены окончательные параметры атмосфер звезд, использованные в дальнейших расчетах.

3. Анализ химического состава

Содержание химических элементов в атмосферах звезд рассчитывалось с помощью программы WIDTH по измеренным эквивалентным ширинам. Для звезды AO CVn были использованы линии 37 атомов и ионов для 29 химических элементов, для KW Aur – линии 33 атомов и ионов для 27 химических элементов, для CP Boo – эквивалентные ширины линий 36 атомов и ионов для 28 химических элементов.

В настоящей работе применялся дифференциальный метод анализа химического состава звезд δ Щита относительно солнечного. В его рамках содержание подавляющего числа химических элементов определялось как разница их содержаний в исследуемой звезде и на Солнце, полученных отдельно для каждой использованной линии. Однако в спектре Солнца линии нескольких ионов с высокими потенциалами ионизации не наблюдаются или наблюдаются в малом количестве. В этом случае в качестве солнечных содержаний приняты значения, полученные в работе Андерса и Гревесса [5]. Дифференциальный анализ химического состава звезд позволяет минимизировать влияние ошибок сил осцилляторов линий на определяемые

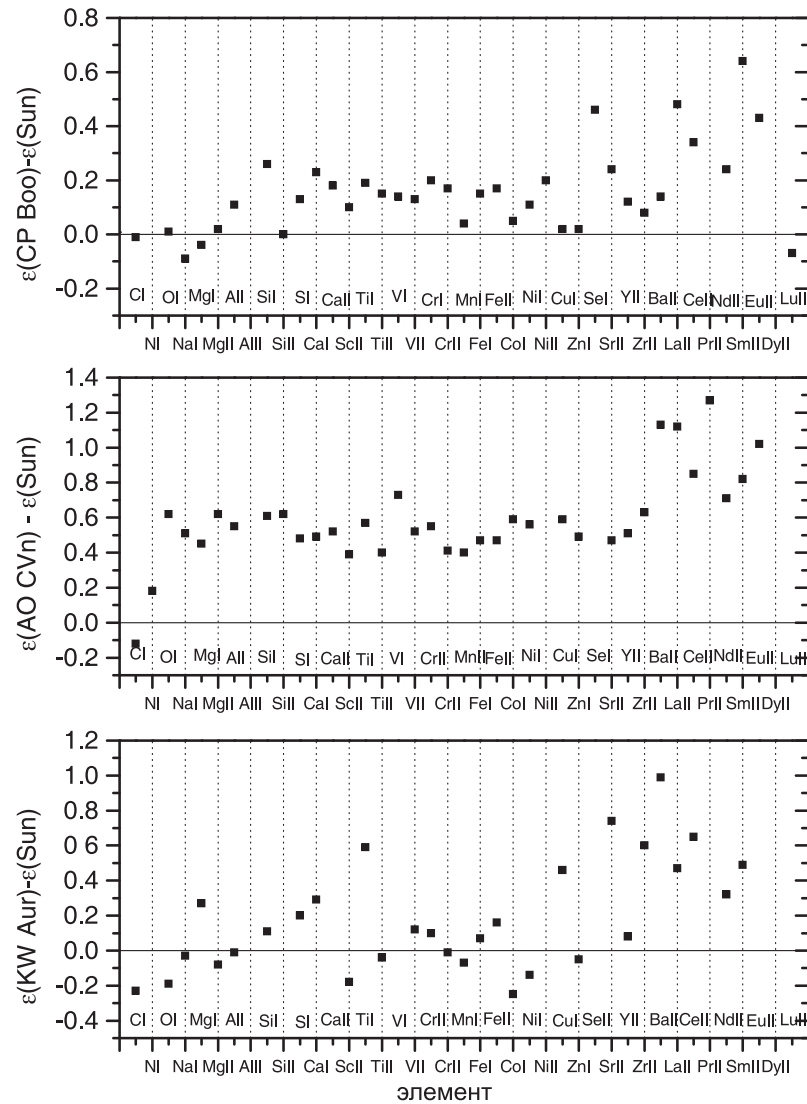


Рис. 4. Содержания элементов относительно Солнца для исследуемых звезд

содержания химических элементов. На рис. 4 приведены содержания химических элементов в звездах относительно солнечного.

Анализируя полученные распределения содержаний можно сделать следующие выводы.

1. Все исследованные звезды обладают повышенной общей металличностью. В целом данный результат согласуется с представлением о звездах δ Щита как достаточно молодых объектах $t \sim 2 \cdot 10^9$ лет, принадлежащих системе тонкого галактического диска.

2. В атмосферах всех звезд наблюдаются существенные аномалии химического состава качественно близкого характера.

3. Все исследованные звезды показывают дефицит легких элементов, различающийся качественно и количественно для разных объектов.

4. Все более тяжелые элементы α -процесса, элементы группы железа, а также Cu и Zn в целом хорошо соответствуют общей металличности. Ряд единичных малых аномалий (до 0.13 dex) в содержании Ca, Mn, Cu, вероятно, обусловлен ошибками наблюдений и анализа. Таким образом, исследуемые звезды δ Щита не принадлежат к классу марганцевых или кремниевых химически пекулярных звезд.

5. Содержания части тяжелых элементов, образующихся в результате действия s - и r -процессов, показывают существенные избытки в атмосферах всех звезд. Для CP Boo характерны избытки только редкоземельных элементов (La, Pr, Nd и др.) умеренной амплитуды до 0.3 dex, тогда как содержания более легких элементов (Zr, Sr, Y) согласуются с общей металличностью. Аналогичный тип аномалий существует в атмосфере АО CVn, но их амплитуда возрастает до 0.6 dex. Однако в атмосфере KW Aur наблюдаются большие (до 0.4 dex) избытки содержаний Zr и Sr одновременно с аналогичными избытками всех редкоземельных элементов.

6. Найденный химический состав атмосфер CP Boo, АО CVn и KW Aur качественно соответствует составу Ар-звезд, однако отличается в 4–10 раз амплитудой аномалий. Названные отличия в целом характерны для звезд типа δ Щита и объясняются их более низкими эффективными температурами и наличием заметных пульсаций.

Авторы выражают благодарность TUBITAK за поддержку в использовании телескопа PTT-150.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-02-01145-а).

Summary

D.V. Ivanova, A.I. Galeev, V.V. Shimansky, N.N. Shimanskaya. Analysis of Parameters and Chemical Composition of Low-Amplitude δ Sct-Type Stars.

We studied a sample of pulsing variable stars of δ Scuti type. Atmospheric parameters of the stars AO CVn, KW Aur and CP Boo were defined and specified based on high-precision spectroscopic data. The chemical composition of these stars relative to solar abundances was determined by differential analysis.

Key words: δ Sct stars, chemical composition, atmospheric parameters.

Литература

1. *Fossati L., Kolenberg K., Reegen P., Weiss W.* Abundance analysis of seven δ Scuti stars // *Astron. Astrophys.* – 2008. – V. 485, No 1. – P. 257–265.
2. *Rodriguez E., Lopez-Gonzalez M.J., Lopez De Coca P.* A revised catalogue of delta Sct stars // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* – 2000. – V. 144, No 3. – P. 469–474.
3. *Галазутдинов Г.А.* Система обработки звездных эшелле-спектров. II. Обработка спектров. Препринт № 92. – Нижний Архыз: CAO РАН, 1992. – С. 27–52.
4. *Bernacca P.L., Perinotto M.* A catalogue of stellar rotational velocities // *Contrib. Oss. Asiago Nos.* – 1970. – V. 239.
5. *Anders E., Grevesse N.* Abundances of the elements – Meteoritic and solar // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* – 1989. – V. 53, No 1. – P. 197–214.

Поступила в редакцию
24.01.11

Иванова Диана Владимировна – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *dianai@mail.ru*

Галеев Алмаз Ильсурович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *almazgaleev2@yandex.ru*

Шиманский Владислав Владимирович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Slava.Shimansky@ksu.ru*

Шиманская Нелли Николаевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Nelli.Shimanskaya@ksu.ru*