

УДК 524.31.08

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА  
НИЗКОАМПЛИТУДНЫХ ЗВЕЗД ТИПА  $\delta$  ЩИТА***Д.В. Иванова, А.И. Галеев, В.В. Шиманский, Н.Н. Шиманская***Аннотация**

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

**Ключевые слова:** звезды  $\delta$  Sct, химический состав, параметры атмосфер.

**Введение**

Звезды типа  $\delta$  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  $\delta$  Щита затрудняется в связи с тем, что пульсации этих звезд иногда происходят в нескольких модах, а также их частой двойственностью.

Звезды типа  $\delta$  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,  $\delta$  Sct,  $\gamma$  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 ( $\delta$  Del, 44 Tau,  $\epsilon$  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,  $\rho$  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  $\delta$  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 AO 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	$m_V$	$B - V$	$\Delta m_V$	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].

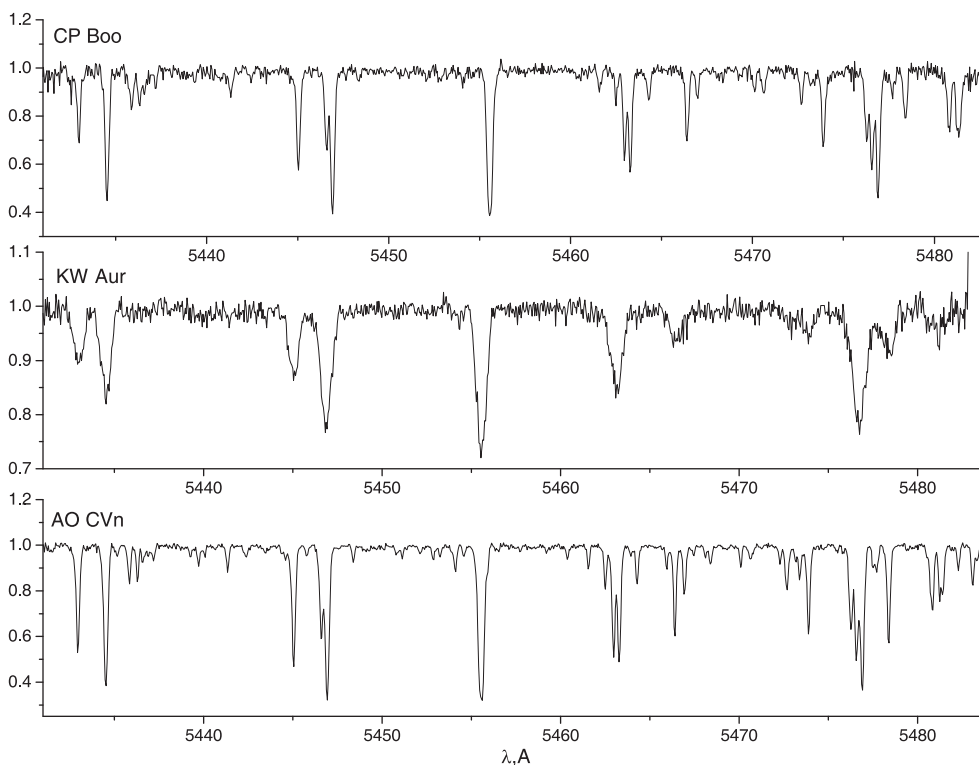


Рис. 1. Участки наблюдаемых спектров исследуемых звезд

### 1. Наблюдения

Наблюдения трех звезд типа  $\delta$  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  $\lambda$  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,

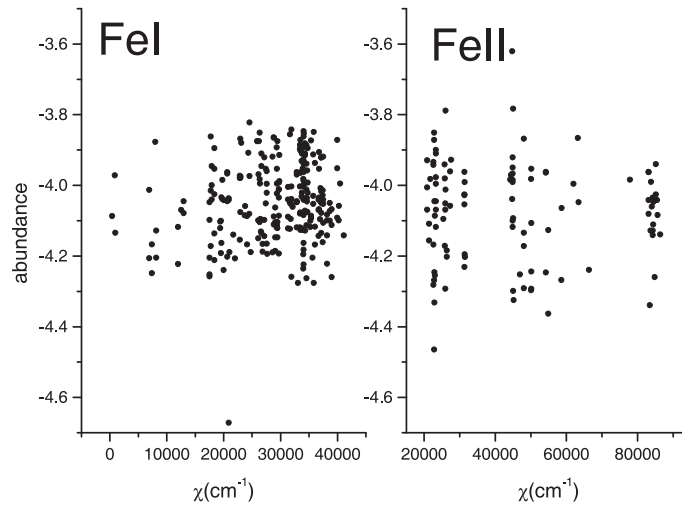


Рис. 2. Зависимость содержания железа от потенциала возбуждения нижнего уровня линий для АО CVn

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

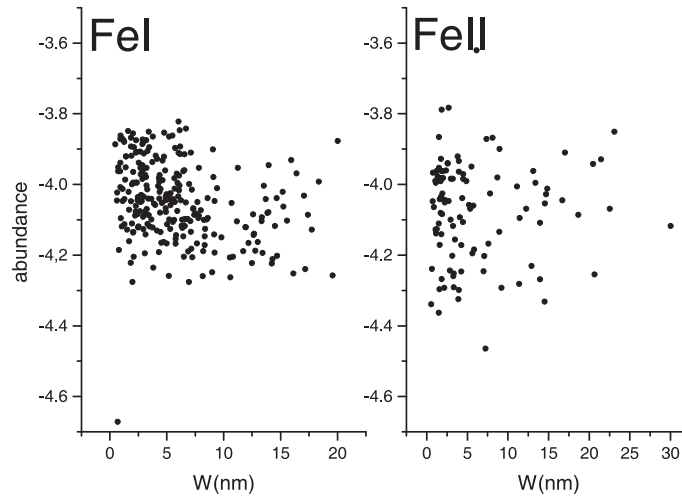


Рис. 3. Зависимость содержания железа от эквивалентных ширин линий для АО CVn

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<sup>m</sup> 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]	$\xi_{\text{turb}}$
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

$0.2^m - 0.5^m$  должны возникать заметные изменения в спектрах, вызванные изменениями параметров звезды в разные фазы периода. Рассмотренные звезды имеют небольшие скорости вращения. Спектры быстро вращающихся 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  $\delta$  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

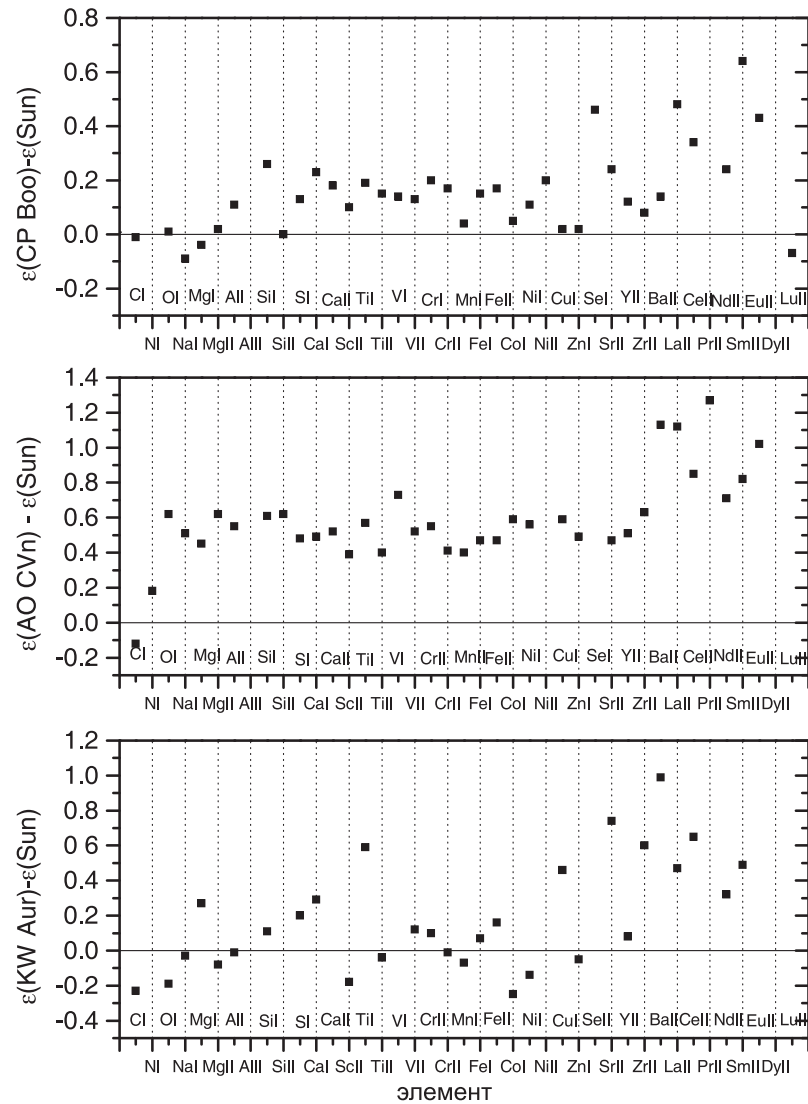


Рис. 4. Содержания элементов относительно Солнца для исследуемых звезд

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  $\delta$  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  $\alpha$ -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, Si, вероятно, обусловлен ошибками наблюдений и анализа. Таким образом, исследуемые звезды  $\delta$  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 AO 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, AO CVn и KW Aur качественно соответствует составу Ar-звезд, однако отличается в 4–10 раз амплитудой аномалий. Названные отличия в целом характерны для звезд типа  $\delta$  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  $\delta$  Sct-Type Stars.

We studied a sample of pulsing variable stars of  $\delta$  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:**  $\delta$  Sct stars, chemical composition, atmospheric parameters.

### Литература

1. *Fossati L., Kolenberg K., Reegen P., Weiss W.* Abundance analysis of seven  $\delta$  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: САО 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*