

УДК 524.33/35-75:523.15

## ПЯТЕННАЯ СТРУКТУРА И СТРАТИФИКАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В АТМОСФЕРЕ He-w ЗВЕЗДЫ HD 21699

© 2009 Ю. В. Глаголевский<sup>1</sup>, А. В. Шаврина<sup>2</sup>,  
Дж. Сильвестер<sup>3</sup>, Г. А. Чунтонов<sup>1</sup>, Я. В. Павленко<sup>2</sup>, В. Р. Халак<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>2</sup>Главная астрономическая обсерватория НАНУ

<sup>3</sup>Department of Physics, Royal Military College of Canada, PO Box

<sup>4</sup>Departement de Physique et d'Astronomie, Université de Moncton, Canada

Поступила в редакцию 17 ноября 2008 г.; принята в печать 19 марта 2009 г.

По спектрам He-w звезды HD21699, полученным в разных фазах периода вращения, исследовано распределение гелия и кремния по поверхности. Содержание гелия по всей поверхности уменьшено, но в области магнитных полюсов увеличено, очевидно, вследствие влияния ветра. Кремний скапливается в области с горизонтальным расположением магнитных силовых линий, как и следует из теории. Содержание гелия и кремния увеличивается с глубиной, причем граница его изменения практически не изменяется с фазой периода вращения. Учет стратификации химических элементов заметно изменяет вычисленное распределение температуры с глубиной, а также форму профилей линий водорода.

Ключевые слова: *звезды — переменные и пекулярные*

### 1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В работе [1] показано, что у звезды HD 21699 гелий концентрируется в одном полушарии и ослаблен на другом, причем максимум его концентрации совпадает с положительным магнитным полюсом. Кремний ведет себя противоположным образом. Однако с точки зрения теории диффузии содержание элементов вокруг обоих магнитных полюсов должно быть одинаковым, если распределение магнитного поля по поверхности определяется диполем, находящимся в центре звезды. Обычно это и наблюдается у большинства магнитных звезд, за исключением HD 21699, 28823, 175362 и некоторых других.

В работе [2] отмечается, что кривые блеска в U, V, V имеют всего одну волну, хотя звезды с дипольными магнитными полями всегда имеют две.

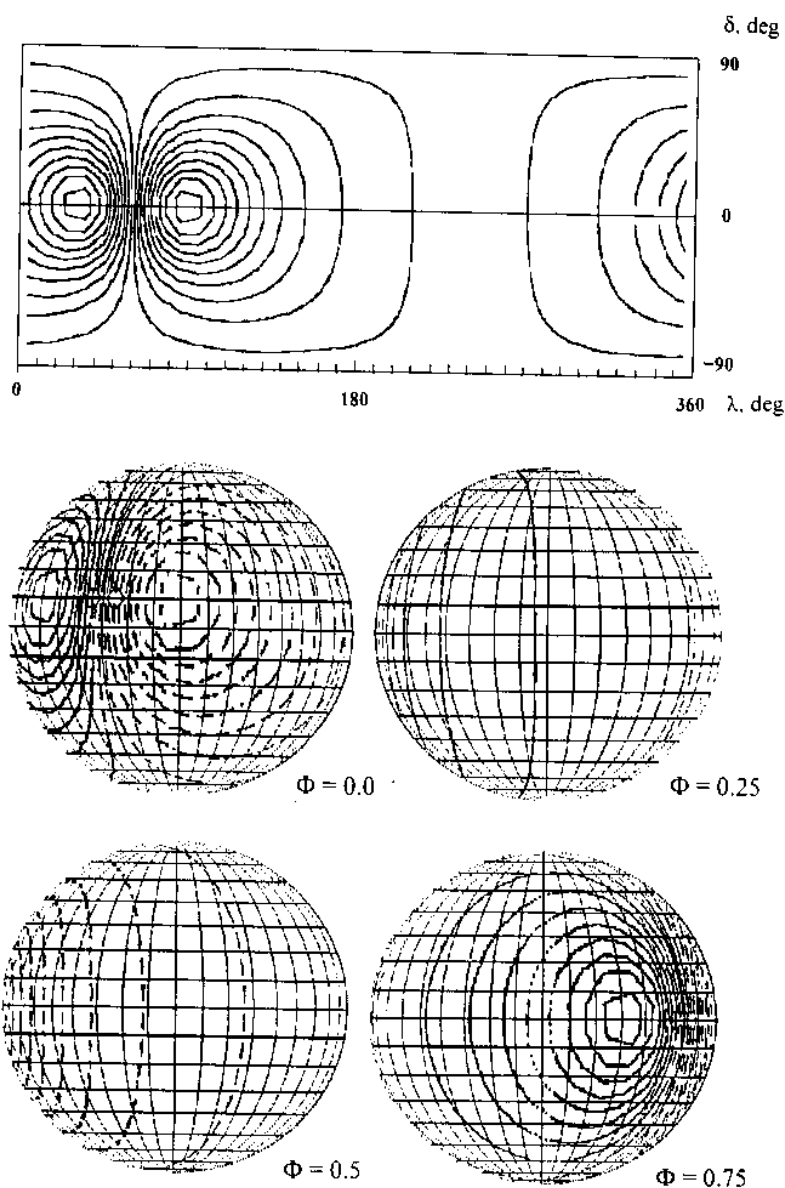
В работе [3] показано, что на звезде наблюдается только один джет из одного магнитного полюса, хотя такая асимметрия совершенно неизвестна в CP-объектах.

Наша задача заключалась в дополнительном исследовании структуры магнитного поля. Для этого использовался метод магнитных зарядов, описанный в работе [4]. В отличие от некоторых других

методов моделирования эта методика имеет физический смысл, заключающийся в том, что магнитное поле должно иметь источник в виде вихревых токов. Такое поле теоретически описывается полем магнитного диполя. Задавая необходимые параметры магнитного поля, вычисляются изменения с фазой среднего эффективного магнитного поля  $V_e-\Phi$  и среднего поверхностного магнитного поля  $V_s-\Phi$ , которые сравниваются с наблюдениями. Методом последовательных приближений можно добиться наилучшего совпадения вычисленных и наблюдаемых зависимостей.

Модель магнитного поля звезды HD21699 была подробно описана в [5], где были использованы измерения, выполненные [3] с помощью  $H\beta$ -зеemannовского поляриметра. Наиболее точное согласие между наблюдаемыми и вычисленными фазовыми зависимостями получается в случае, когда диполь смещен из центра звезды на величину  $a = 0.4 \pm 0.1$  радиуса звезды поперек своей оси. В результате магнитные полюса на поверхности звезды оказываются приближенными друг к другу: между ними не  $180^\circ$ , как при центральном диполе, а около  $55^\circ$ . Меркаторская карта распределения магнитного поля по поверхности HD21699 и глобусы в разных фазах приведены на Рис. 1.

Если не учитывать знак поля, то на поверхности



**Рис. 1.** Распределение напряженности магнитного поля по поверхности звезды HD21699. Вверху — меркаторская карта распределения поля ( $\lambda$  — долгота,  $\delta$  — широта), внизу — вид распределения поля в фазах  $\Phi = 0.0, 0.25, 0.5$  и  $0.75$ .

звезды образуется одно большое магнитное “пятно” [5]. Диффузия химических элементов не зависит от знака поля, поэтому в магнитном “пятне” аномалии содержания химических элементов также не зависят от знака поля. Наблюдательные данные показывают, что интенсивность линий гелия ослаблена во всех фазах вращения, а в магнитном пятне она усилена. Линии же кремния, наоборот, в пятне слабее, чем в противоположной части звезды. Вследствие всех этих свойств в течение периода вращения наблюдается только одна волна изменений интенсивности спектральных линий хи-

мических элементов, одна волна изменения блеска и один общий из двух полюсов звездный ветер.

Вследствие близости положительного и отрицательного магнитных полюсов оказывается, что общее “магнитное пятно”, с преимущественно вертикальным направлением к поверхности магнитных силовых линий, занимает около половины поверхности звезды, а на второй половине магнитные силовые линии расположены горизонтально [5]. Такая конфигурация магнитного поля делает этот объект наиболее удобным для исследования распределения тех элементов, которые концентриру-

ются вокруг магнитных полюсов (He и др.) и тех, которые концентрируются там, где силовые линии горизонтальны (Si и др.), а также для исследования распределения различных химических элементов с глубиной в зависимости от величины и структуры магнитного поля. Цель работы — исследование процессов диффузии химических элементов в атмосферах CP-звезд. В отличие от работ, которые посвящены изучению изменений интенсивности отдельных линий, фотометрии и др. в отдельных фазах периода вращения, мы изучаем распределение химсостава и распределены химических элементов с глубиной в разных участках звезды. HD21699 очень подходит для этих целей, потому что ее поверхность очень просто разделена на две части: в одной магнитные силовые линии направлены преимущественно вертикально, а в другой — преимущественно горизонтально.

## 2. ПАРАМЕТРЫ ЗВЕЗДЫ HD 21699

Звезда относится к типу He-w. Ее основные параметры следующие:  $T_e = 16000$  К,  $\log g = 4.15$ , скорость микротурбуленции  $V_t = 0.8$  км/с [6]. Угол наклона оси вращения звезды к лучу зрения  $i = 32^\circ$  [5]. Максимальная положительная величина эффективного магнитного поля  $B_e$  приходится на фазу  $\Phi = 0.0$  в соответствии с эфемеридой [5]:  $JD\ 2445595.529 + 2^d.49246$ .

## 3. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ОБРАБОТКА

На Основном звездном спектрографе (ОЗСП) 6-метрового телескопа, снабженном резателем изображения на 14 полосок, получены 10 спектров с разрешением 15000 и отношением сигнал/шум порядка 2000. Использован диапазон длин волн  $\lambda\ 4000\text{--}4240$  Å. Кроме того, один спектр в диапазоне длин волн  $\lambda\ 4500\text{--}5900$  Å был получен с помощью эшелювого спектрографа NES 6-м телескопа [7] с разрешением порядка 40000 (в фазе 0.687). Дополнительно были использованы три спектра с разрешением 35000 в диапазоне  $\lambda\ 4500\text{--}6600$  Å, полученные с эшелювым спектрографом MuSiCoS на 2-м телескопе Bernard Lyot в обсерватории Pic du Midi во Франции (фазы 0.118, 0.322, 0.525). Обработка спектров, полученных на 6-м телескопе, проводилась с помощью пакета MIDAS, спектров, полученных на MuSiCoS, — с помощью пакета ESPRIT [8].

Синтетические спектры HD21699 рассчитывались по программам SYNTHM [9] и SYNTHV [10]. Для этого использовались модели атмосфер Куруца [11] и модели с уменьшенным содержанием гелия, рассчитанные по программе SAM12 [12]. Нам

удалось хорошо описать профиль линии  $H_\delta$  моделью с  $T_{eff} = 15500$  К,  $\log g = 4.0$ ,  $[\text{He}/\text{H}] = -3.0$ . Но при этом профили  $H_\alpha$  и  $H_\beta$  не удалось удовлетворительно описать этой моделью, и мы отказались от ее использования для анализа имеющихся спектров. Поэтому окончательные расчеты были выполнены с применением модели Куруца с параметрами  $T_e = 16000$  К и  $\log g = 4.0$ , оптимально описывающей линии водорода, за исключением ядра линии  $H_\alpha$ . При моделировании использовались списки атомных линий VALD [13] и Castelli [14]. Средние содержания химических элементов без учета их стратификации и магнитного расщепления линий были определены с помощью программы SYNTHV, а с учетом расщепления в магнитном поле — по программе SYNTHM. Для выполнения таких расчетов величины среднего поверхностного магнитного поля для каждой фазы периода вращения были взяты из модели смещенного диполя для HD21699 [5].

Стратификация химических элементов изучалась путем наилучшего совмещения вычисленных профилей избранных линий с заданным распределением элементов по глубине в атмосфере с наблюдаемыми профилями. Для этого предварительно рассчитывались функции вклада для исследуемых линий программой VITA [15].

## 4. ГЕЛИЙ

В Табл. 1 и на Рис. 2 показано изменение содержания гелия с фазой периода вращения. Кружки — определение по всем линиям, квадраты — определение по линии 4026 Å. Ошибка определения порядка 0.1 dex. Вертикальными линиями показаны фазы максимального и минимального среднего поверхностного магнитного поля  $B_s$ . Хорошо видно, что в “магнитном пятне” содержание гелия больше примерно в 1.5 раза.

Звезда HD21699 относится к типу He-w, т.е. линии гелия в ее спектре ослаблены. В работах [16, 17] показано, что формирование у звезд признаков типа He-w или He-rich зависит от силы ветра в их атмосферах. Если  $v_f$  — скорость потока в атмосфере за счет ветра, а  $v_D$  — скорость диффузии гелия внутрь звезды, то звезды типа He-w образуются, когда  $v_D > v_f$ . Из Рис. 2 видно, что по всей поверхности HD21699 гелий ослаблен по сравнению с солнечным содержанием гелия  $\log(\text{He}/\text{H}) = -1.05$ , однако в “магнитном пятне” вследствие влияния ветра его содержание больше, чем на противоположной стороне.

На тех участках поверхности, где силовые линии горизонтальны, диффузия гелия внутрь происходит только за счет нейтрального HeI, поэтому здесь гелия должно быть больше, чем на полюсах, так как

**Таблица 1.** Содержание гелия в разных фазах периода вращения

Фаза	Линия 4026Å	$\lambda$	Среднее из 6 линий
0.023	-2.63		
0.116	-2.55		
0.118			-2.57
0.195	-2.62		
0.314	-2.62		
0.323			-2.57
0.393	-2.71		
0.410	-2.79		
0.470	-2.78		
0.525			-2.65
0.543	-2.82		
0.682	-2.69		
0.687			-2.69
0.928	-2.64		

там силовые линии вертикальны и сопротивления диффузии вглубь по сравнению с противоположной стороной практически нет. Поэтому тот факт, что интенсивности линий гелия на полюсах у изучаемой звезды больше, чем интенсивности на противоположной стороне, говорит о том, что на полюсах должен быть достаточно сильный ветер. Действительно, наблюдательные данные свидетельствуют о наличии сильного ветра из магнитного пятна звезды HD21699 [18–20].

Стратификация гелия находилась путем наилучшего совмещения рассчитанных по программе SYNTHM крыльев и центральных частей спектральных линий с наблюдаемыми. Глубина границы изменения содержания не изменяется с фазой, как это видно на Рис. 3. Кроме того, подтверждается теоретический расчет [21], что содержание гелия в звездах He-w должно увеличиваться с глубиной. Авторы этой работы отмечают также, что гелий может возбуждать пульсации CP-звезд посредством Карра–механизма. Средняя величина содержания гелия на поверхности равна  $\log(He/H) = -3.5 \pm 0.1$ , а в глубине  $(-1.0 \pm 0.2)$  (солнечное содержание  $(-1.05)$ ).

### 5. КРЕМНИЙ

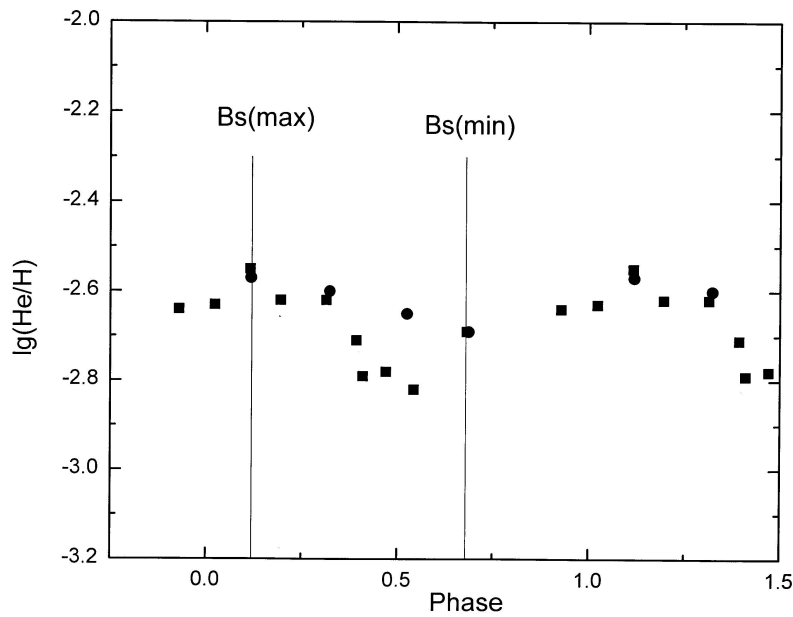
Вычисленные содержания кремния представлены в Табл. 2–3. На Рис. 4 показано изменение

содержания кремния с фазой периода вращения. Зависимость 1 построена по линиям с большим потенциалом возбуждения, а зависимость 2 — по линиям с малым потенциалом канадских и NES спектров, квадраты — по данным с ОЗСП спектров. Содержание определялось по линиям  $\lambda 4128$  и  $4130 \text{ \AA}$  (спектры ОЗСП),  $\lambda 4673$ ,  $5041$ ,  $5055$ ,  $5202$ ,  $5669$ ,  $6347$ ,  $6371 \text{ \AA}$  (спектры  $MuSiCoS$ ) и  $\lambda 4673$ ,  $5041$ ,  $5055$ ,  $5202$ ,  $5669 \text{ \AA}$  (спектры NES). Ошибка определения содержания порядка 0.1dex. Содержание Si для Солнца равно  $\log N(Si)/N(H) = -4.49$  [23]. Это значит, что в той области фаз, где наблюдается  $B_s(\max)$ , линии с малым потенциалом (зависимость 2) указывают на недостаток, а с большим (зависимость 1) — на избыток кремния. В той области фаз, где наблюдается  $B_s(\min)$ , и те, и другие дают избыток, но линии с большим потенциалом все равно дают большее содержание во всех фазах периода вращения. Поскольку линии с большим потенциалом возбуждения образуются глубже, то мы наблюдаем увеличение содержания к поверхности в любом случае, особенно в магнитном пятне, когда наблюдается  $B_s(\max)$ . Таким образом, Рис. 4 указывает на увеличение содержания кремния вглубь, как это предсказывалось в работе [21].

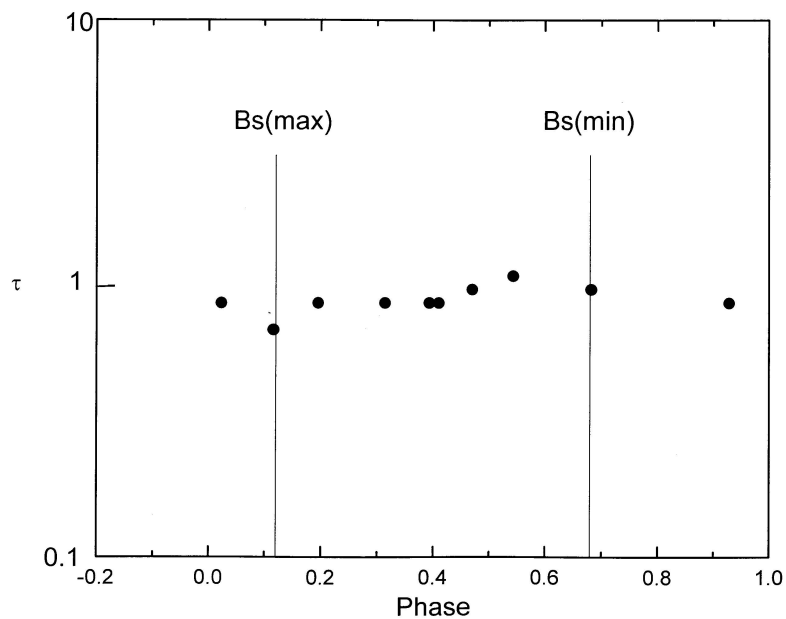
**Таблица 2.** Изменение среднего содержания кремния  $\log [N(Si)/N(H)]$  (без учета стратификации) с фазой периода вращения  $\epsilon$  и в зависимости от потенциала возбуждения  $\epsilon$  (фазы  $\Phi = 0.118$ ,  $0.322$  и  $0.525$  — спектры  $MuSiCoS$ , фаза  $\Phi = 0.687$  — спектры NES)

		$\log [N(Si)/N(H)]$			
$\epsilon, \text{ \AA}$	Линия, $\text{ \AA}$	0.118	0.322	0.525	0.687
8.12	6374	-5.12	-4.92	-4.02	—
8.12	6371	-5.12	-4.92	-4.12	—
10.07	5041	-4.87	-4.67	-4.02	-4.25
10.07	5055	-5.15	-4.99	-4.55	-4.50
12.84	4673	-3.87	-3.82	-3.52	-3.70
14.21	5669	-4.15	-4.05	-3.55	-3.75
16.35	5202	-3.75	-3.80	-3.20	-3.70

В работах [24–26] обсуждается причина неравномерного распределения кремния по поверхности магнитных звезд. Он скапливается там, где силовые линии расположены горизонтально относительно поверхности звезды. Поэтому у звезд с центральным диполем он концентрируется в области магнитного экватора. В случае смещения диполя,



**Рис. 2.** Изменение содержания гелия с фазой периода вращения. Круги — определение по всем линиям, квадраты — определение по линии  $\lambda$  4026 Å. Вертикальными линиями отмечены фазы максимального и минимального значения среднего поверхностного магнитного поля.



**Рис. 3.** Изменение средней глубины  $\tau$  формирования скачка содержания гелия, определенного по линии  $\lambda$ 4026 Å.

как у HD21699, противоположная от магнитных полюсов сторона имеет большие площади с горизонтально расположенными силовыми линиями. По этой причине кремний концентрируется в этой

области на всей поверхности звезды и ослаблен вокруг магнитных полюсов.

На Рис.4 мы видим, что подтверждается расчет [24–26], указывающий на то, что кремний

**Таблица 3.** Изменение содержания кремния  $\log [N(\text{Si})/N(\text{H})]$  (без учета стратификации) среднего по линиям низкого и высокого возбуждения отдельно с фазой периода вращения

Спектры ОЗСП		Спектры $\text{MuSiCoS}$ и NES		
Фаза	Содержание	Фаза	Содержание	
	$\varepsilon = 9.837 \text{ эВ}$		$\varepsilon = (8-10) \text{ эВ}$	$\varepsilon = (12-16) \text{ эВ}$
0.023	-4.90	0.118	-5.06	-3.92
0.116	-4.95	0.322	-4.88	-3.87
0.195	-5.15	0.525	-4.16	-3.42
0.314	-4.80	0.687	-4.37	-3.72
0.393	-4.50			
0.410	-4.35			
0.470	-4.35			
0.543	-4.35			
0.682	-4.15			
0.928	-4.70			

в HD21699 должен накапливаться в той части звезды, где силовые линии горизонтальны.

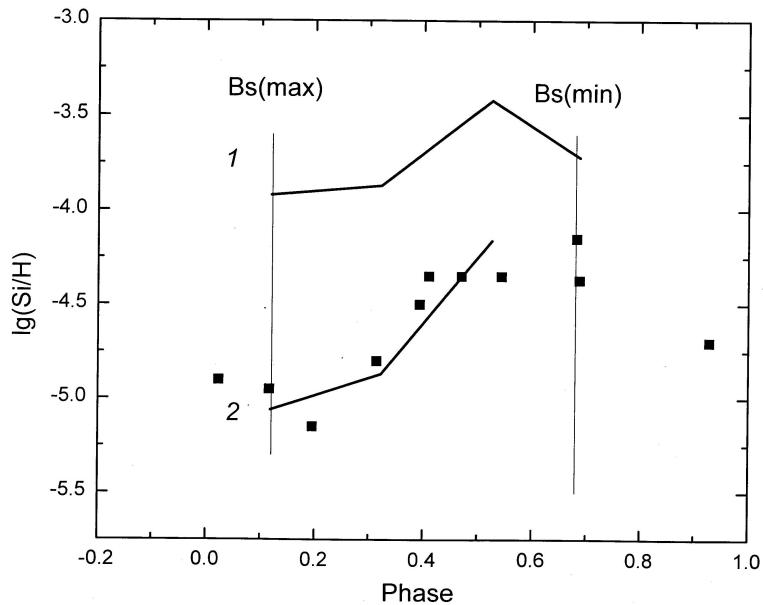
Глубина залегания границы быстрого изменения содержания кремния находится на оптической толщине  $\tau \approx 1$  (Рис. 5), причем она не меняется с фазой периода. Средняя величина содержания кремния на поверхности составляет  $-5.2 \pm 0.2$ , а в глубине  $-3.3 \pm 0.1$  (солнечное содержание равно  $(-4.45)$ ).

Как известно, на магнитных полюсах давление излучения может увеличить содержание кремния максимум в 2 раза [24]. Однако в областях, где магнитные силовые линии горизонтальны относительно поверхности звезды, ситуация другая. Нейтральный кремний выталкивается радиационным давлением беспрепятственно поперек магнитных силовых линий в верхние слои звезды и скапливается там. Нейтральный кремний у поверхности ионизируется в соответствии с температурой в этих слоях. Диффузия SiII и SiIII в поперечном магнитном поле сильно замедлена. В результате количество атомов кремния на поверхности звезды увеличивается. Действие силы гравитации на ионы SiII и SiIII, сравнимо с радиационным давлением. Зеемановское расщепление линий слабо влияет на силу радиационного давления [27]. Силы радиационного давления на другие химические элементы, кроме Si, неизвестны, и учет их невозможен, поэтому исследование изменения их содержания с фазой периода вращения крайне необходимо.

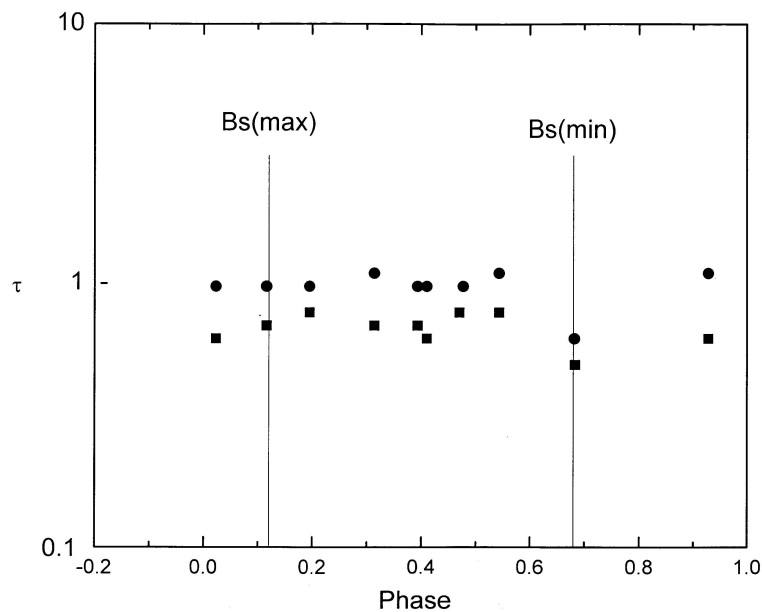
Следует добавить, что стратификация химических элементов вследствие процессов диффузии в атмосферах CP-звезд была изучена также

в работе [28]. Самосогласованные модели авторов показали, что такие элементы как Fe, Cr, Si и Ca действительно накапливаются на больших оптических глубинах и оказываются в дефиците в верхних слоях атмосферы, что соответствует наблюдательным данным. Переходная зона для железа в их моделях [28] локализуется на оптической глубине  $\tau_{5000} = 1$ . Авторы [28] также нашли, что стратификация приводит к изменению структуры атмосферы — в слоях накопления химических элементов температура повышается, а в слоях дефицита уменьшается до 10%.

Мы исследовали также влияние стратификации гелия и кремния на распределение температуры с глубиной в модели атмосферы Куруца с  $T_e = 16000 \text{ К}$  и  $\log g = 4.0$ . На Рис. 6 представлены результаты расчета. Сплошной линией показано стандартное распределение Куруца, пунктирная линия соответствует распределению температуры, вычисленному по нашей просьбе Д. Шуляком с использованием программы LLmodels [29], учитывающей наши результаты по стратификации гелия и кремния, а штриховая линия — искусственно подобранному для описания ядра линии  $\text{H}_\alpha$  распределению температуры. На Рис. 7 показаны наблюдаемый профиль линии  $\text{H}_\alpha$  (сплошная линия), профиль, рассчитанный в рамках стандартной модели Куруца (16000/4.0) (длинный штрих), профиль с учетом стратификации гелия и кремния (пунктирная линия) и профиль, рассчитанный в рамках искусственно модифицированной модели (короткий штрих) путем понижения температуры в



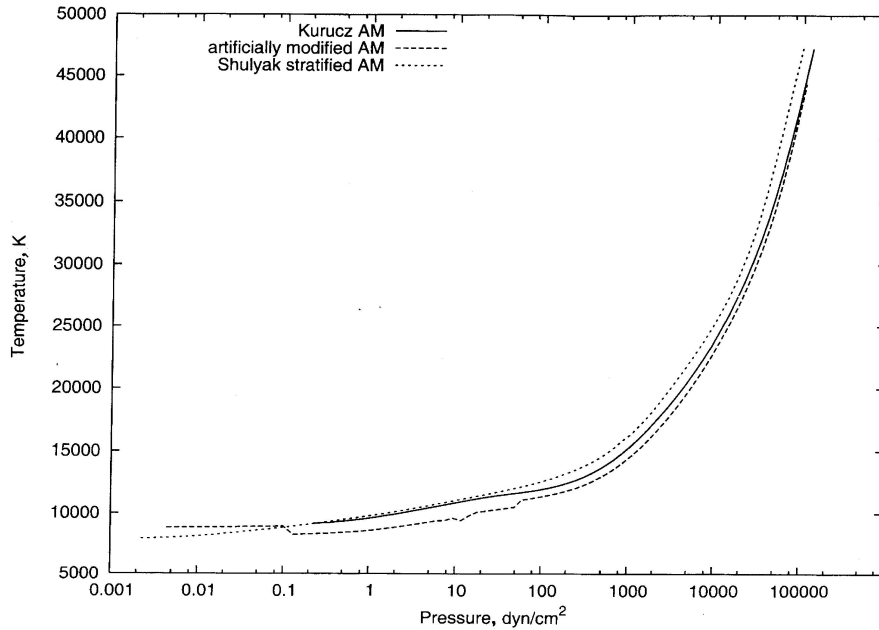
**Рис. 4.** Изменение содержания кремния с фазой периода вращения. 1 — линии с большим потенциалом возбуждения и 2 — с малым. На Рис., кроме данных по канадским спектрам (сплошные линии), квадратиками обозначены данные по ОЗСП-спектрам.



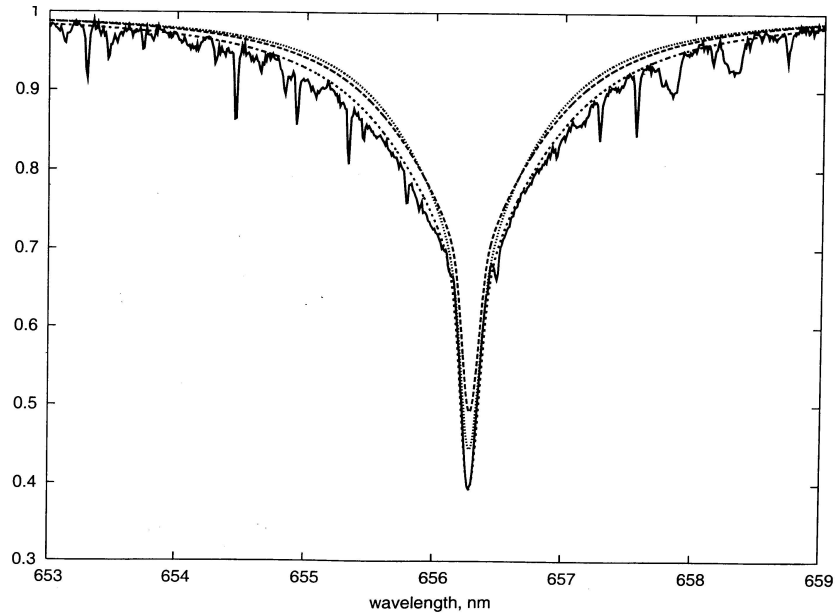
**Рис. 5.** Изменение средней глубины  $\tau$  формирования скачка содержания кремния, определенной по линиям  $4128 \text{ \AA}$  (квадраты) и  $4130 \text{ \AA}$  (кружки) в разные фазы периода.

слоях образования ядра линии  $H_{\alpha}$ . Эти примеры показывают, что стратификация гелия и кремния существенно влияет на распределение температуры и, как следствие, на профили линий водорода. Для лучшего описания ядра линии в стратифици-

рованной модели, по-видимому, необходимо ввести данные по стратификации железа, как это сделано в [28]. Изучение стратификации железа в атмосфере HD21699 планируется.



**Рис. 6.** Зависимость температура—давление для стандартной модели Куруца (сплошная линия), для модели с учетом стратификации гелия и кремния (штриховая линия) и модели с искусственно пониженной температурой (до 9000 К) в слоях образования ядра линии  $H_{\alpha}$  (пунктирная линия).



**Рис. 7.** Сравнение наблюдаемого профиля  $H_{\alpha}$  (сплошная линия) для  $\Phi = 0.118$  с рассчитанным по стандартной модели Куруца (16000/4.0) (длинный штрих), по модели с учетом стратификации гелия и кремния (пунктирная линия) и по модели с искусственно пониженной температурой в слоях образования ядра линии  $H_{\alpha}$  (короткий штрих).

### 6. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Перечислим коротко основные результаты настоящего исследования.

- Впервые содержание элементов у магнитной

звезды получено не в одной какой-либо фазе, а в течение всего периода вращения.

- Показано, что кремний в HD21699 накапливается в той части звезды, где силовые



линии горизонтальны, как предполагалось в работах [24–26].

- Содержание кремния, полученное по линиям низкого возбуждения, уменьшено в области магнитного пятна и увеличивается в области горизонтальных силовых линий. По линиям высокого возбуждения наблюдается также рост содержания в области горизонтальных силовых линий, но это содержание всюду больше солнечного.
- Гелий по всей поверхности ослаблен, как и полагается для звезд типа He-w, но в области “магнитного пятна” он усилен вследствие влияния ветра, который выносит гелий в верхние слои атмосферы [21].
- Глубина залегания границы резкого изменения обилия гелия и кремния приблизительно одинакова во всех фазах периода вращения и равна  $\tau_{5000} \sim 1$ . Отметим, что в работе [28] переходная зона для железа также локализуется на  $\tau_{5000} \sim 1$ .
- Мы подтвердили теоретический расчет [21], что содержание гелия и кремния в звездах типа He-w должно увеличиваться с глубиной.
- Учет стратификации химических элементов заметно изменяет вычисленное модельное распределение температуры с глубиной, а также форму профилей линий водорода.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Мы благодарим С. Хана и В. В. Цымбала за возможность работать с их программами синтетического спектра — SYNTHM, SYNTHV и Д. Шуляка за расчеты модели атмосферы со стратификацией гелия и кремния.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. K. Stateva, *Astrophys. Space Sci.* **226**, 329 (1995).
2. J. R. Perch, *Publ. Astron. Soc. Pacific.* **97**, 856 (1985).
3. D. N. Brown, S. N. Shore and G. Sonneborn *Astrophys. J.* **90**, 1354 (1985).
4. E. Gerth and Yu. V. Glagolevskij, in *Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars*,

Ed. by Yu. V. Glagolevskij and I. I. Romanyuk, (Moscow, 2000), p.151.

5. Ю. В. Глаголевский и Г. А. Чунтонов, *Астрофизика* **50**, 441 (2007).
6. Ю. В. Глаголевский, В. В. Леушин, Г. А. Чунтонов и Д. Шуляк, *Письма в АЖ* **31**, 1 (2005).
7. В. Е. Панчук, Н. Е. Пискунов, В. Г. Ключкова и др., *Препринт САО* **169** (2002).
8. J.-F. Donati, M. Semel, B. D. Carter, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **291**, 658 (1997).
9. S. J. Khan, *Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* **88**, 71 (2004).
10. V. Tsymbal, in *Model Atmospheres and Spectrum Synthesis*, Ed. by S. J. Adelman, F. Kupka, and W. W. Weiss, *ASP Conference Series* **108**, 198 (1996).
11. R. Kurucz, CDR (1–23), *Smithsonian Astrophysical Observatory*, (Washington D.C., 1993).
12. Ya. V. Pavlenko, *Astronomical Rep.* **47**, 59 (2003).
13. F. Kupka, N. E. Piskunov, T. A. Ryabchikova, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **138**, 119 (1999).
14. F.Castelli., <http://www.user.oat.ts.astro.it/castelli/>
15. Ya. V. Pavlenko, *Astronom. Astrophys. Space Sci.* **253**, 43 (1997).
16. P. S. Osmer and D. M. Peterson, *Astrophys. J.* **187**, 117 (1973).
17. S. Vauclair, *Astronom. and Astrophys.* **45**, 233 (1975).
18. D. N. Brown, S. N. Shore, and G. Sonneborn, *Astrophys. J.* **90**, 1354 (1985).
19. S. N. Shore, D. N. Brown, and G. Sonneborn, *Astronom. J.* **94**, 737 (1987).
20. M. R. Molnar, T. C. Stephens, and A. D. Mollama, *Astrophys. J.* **223**, 185 (1978).
21. S. Vauclair, N. Dolez, and D. O. Gough, *Astronom. and Astrophys.* **252**, 618 (1991).
22. M. Brequet, S. Hubrig, P. De Cat, et al., *Astronom. and Astrophys.* **466**, 269 (2007).
23. N. Grevesse, M. Asplund, and A. Sauval, *Space Science Reviews* **130**, 105 (2007).
24. S. Vauclair, J. Hardorp, and D. M. Pederson, *Astrophys. J.* **227**, 526 (1979).
25. G. Alecian and S. Vauclair, *Astronom. and Astrophys.* **101**, 16 (1981).
26. C. Megessier, *Astronom. and Astrophys.* **138**, 267 (1984).
27. S. N. Shore and S. J. Adelman, *Astrophys. J.* **191**, 165 (1974).
28. D. Monin and F. Leblanc, in *Physics of Magnetic Stars*, Ed. by I. I. Romanyuk and D. O. Kudryavtsev, (SAO RAS, 2007), p.360.
29. D. Shulyak, O. Kochukhov, and S. Khan, *Astronom. and Astrophys.* **487**, 689 (2008).

**SPOT SYSTEM AND STRATIFICATION OF SOME CHEMICAL ELEMENTS IN THE  
ATMOSPHERE OF HE-WEAK  
HE-W STAR HD 21699**

**Yu.V. Glagolevskij, A.V. Shavrina, J. Sylvestre, G.A. Chuntunov, Ya.V. Pavlenko, V.R. Khalak**

Surface helium and silicon distribution of a He-weak CP star HD21699 was examined using the spectra obtained at different phases of the star's rotational period. The abundance of helium over the whole surface is weak, but in the magnetic polar regions it is strong, apparently due to the impact of stellar wind. Silicon accumulates in the region with a horizontal alignment of the magnetic lines, as follows from the theory. The abundance of helium and silicon increases with depth. Moreover, the boundary of the abundance variation is very sharp and its depth practically does not change with the rotational period phase. Accounting for the stratification of chemical elements considerably changes the deduced temperature distribution with depth as well as the form of the hydrogen line profile.

Key words: *stars: variable and peculiar*