

УДК 524.35-337/36

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАЛЬЦИЯ И СТРОНЦИЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ СР-ЗВЕЗДЫ HD 49976

© 2013 Ю. В. Глаголевский^{1*}, А. В. Шаврина², Г. А. Чунтонов¹, Д. А. Ляшко³¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия²Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, 03680 Украина³Таврический национальный университет, Симферополь, 95007 Украина

Поступила в редакцию 24 июля 2013 года; принята в печать 3 сентября 2013 года

Методом моделирования структуры магнитного поля HD 49976 получена карта распределения магнитного поля по поверхности и основные его параметры. Моделирование распределения элементов Ca и Sr по фазовым зависимостям эквивалентных ширин линий Ca II 3934 Å и Sr II 4215 Å показало, что их содержание увеличено, скорее всего, между магнитными полюсами. Недостаточно четкий результат получился потому, что структура магнитного поля у HD 49976 оказалась сложной, не соответствующей центральному диполю. Она моделируется двумя диполями, причем более сильный из них находится в центре звезды, а другой, более слабый, на расстоянии $0.3 R_*$ от центра. Методом синтетического спектра получено содержание 28 элементов в моменты экстремумов магнитного поля. Содержание углерода и серы оказалось близким к солнечному, кремний показал дефицит 1.0 dex, а литий, кальций, железо и элементы железного пика, стронций, редкие земли находятся в избытке, особенно значительном в случае редких земель. Для исследования распределения химических элементов в сложных многодипольных магнитных конфигурациях необходимо проведение спектрополяриметрических наблюдений высокого разрешения, плотно охватывающих весь период вращения, чтобы использовать метод Доплер–Зеемановского картирования.

Ключевые слова: *звёзды: химически пекулярные—звёзды: химический состав—звёзды: магнитное поле—звёзды: индивидуальные: HD 49976*

1. ВВЕДЕНИЕ

В процессе выполнения программы по исследованию структур магнитных полей СР-звёзд мы натолкнулись на объект HD 49976 (SrCrEu), который по распределению некоторых химических элементов по поверхности отличался от других звёзд. Исследуя особенности распределения элементов, можно изучить более детально механизм диффузии химических элементов у химически пекулярных звёзд разных типов.

Измерения магнитного поля HD 49976 выполнены в работе [1] с помощью фотографической техники преимущественно по линиям Fe и Sr. Линии этих химических элементов изменяются мало, поэтому можно предположить, что они распределены по поверхности равномерно и магнитное поле искажается не сильно. Сильная переменность отмечается только у линий Ca II 3934 Å и Sr II 4215 Å, распределение которых мы пытаемся исследовать.

2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗВЕЗДЫ

В работе [1] приведен необходимый для моделирования магнитного поля параметр $v \sin i = 31$ км/с. За начальную фазу изменения магнитного поля в этой работе принят момент $JD = 2441298.76 + 2.97666 E$, когда эффективное поле в момент его роста $B_e = 0$ Гс. Период вращения $P = 2^d 97666$ взят из [2]. По данным [3], эффективная температура $T_{\text{eff}} = 9200$ К (она определена по фотометрическому индексу $(B2 - G)$ многоцветной фотометрии), абсолютная болометрическая звездная величина $M_b = 0.8$, откуда получаем радиус звезды $R = 2.0 R_\odot$. По профилям водородных линий (H δ , H γ , H α) нами сделаны оценки эффективной температуры $T_{\text{eff}} = 9400$ К и ускорения силы тяжести $\log g = 3.8$. По этим параметрам и формуле $v = 50.6 R/P$ мы нашли экваториальную скорость вращения звезды $v = 33$ км/с, откуда получаем угол наклона оси вращения к лучу зрения, необходимый для моделирования структуры магнитного поля, $i = 70^\circ$.

*E-mail: glagol@sao.ru

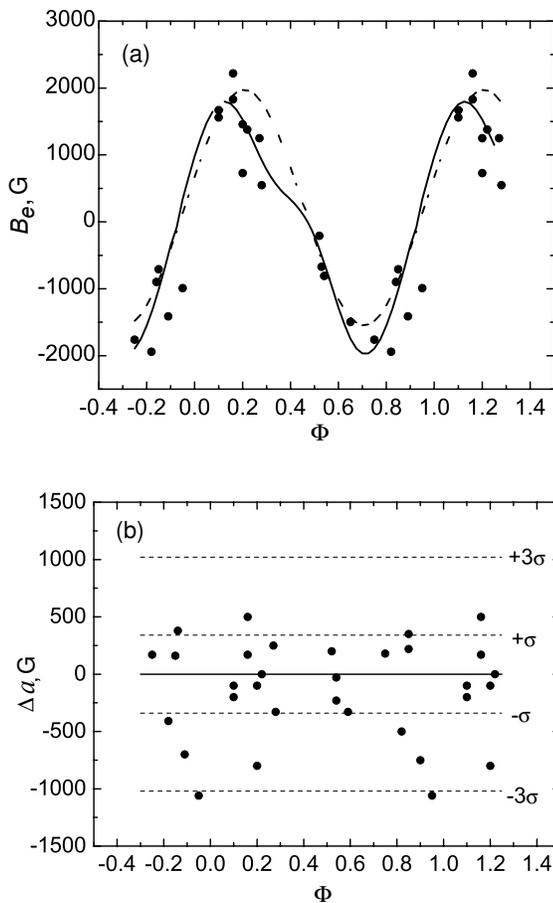


Рис. 1. (а) Фазовое изменение эффективного магнитного поля $B_e(\Phi)$. Точки — измерения, штриховая линия — модельная зависимость в случае центрального диполя, сплошная линия — двухдипольная модель. (б) Отличие измеренных величин B_e от модельной зависимости в разных фазах периода в пределах 3σ .

3. МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Моделирование структур магнитного поля у химически пекулярных звёзд в нашей программе делается единой методикой, описанной в [4, 5].

Вначале строится модель при предположении, что магнитный диполь находится в центре звезды. Вычисляемая фазовая зависимость изменения магнитного поля подбирается способом наименьших квадратов до совпадения с наблюдениями. Параметры модели представлены в Таблице 1, и на Рис. 1 штриховой линией показана полученная фазовая зависимость. Обозначения в таблице следующие: B_p — величина поля в магнитном полюсе, B_s — вычисленное из модели значение среднего поверхностного магнитного поля $B_s = (B_s(\max) + B_s(\min))/2$, β — угол между осью диполя и осью вращения. В случае модели центрального диполя координаты магнитных полюсов на карте такие же, как у монополей.

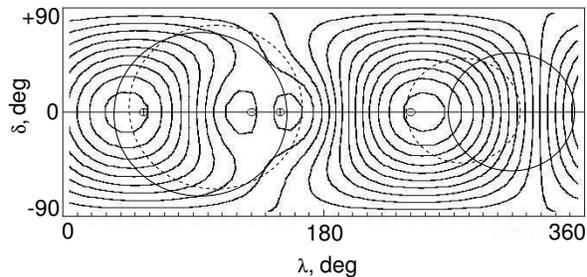


Рис. 2. Меркаторская карта распределения магнитного поля по поверхности HD 49976 в случае двухдипольной модели. Кругами обозначены области предполагаемого распределения S_g (сплошная линия) и S_a (штриховая линия).

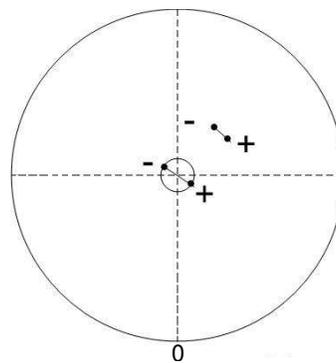


Рис. 3. Схема расположения диполей внутри звезды HD 49976 (вид со стороны полюса вращения).

На Рис. 1а видно, что наблюдаемые величины B_e в области $\Phi = 0.2-0.3$ не совпадают с модельной фазовой зависимостью для центрального диполя. Это различие устраняется, если принять двухдипольную конфигурацию. В таком случае, звезда оказывается принадлежащей к немногочисленному (17%) семейству многодипольных магнитных звезд. Параметры полученной двухдипольной модели приведены в Таблице 2, а вычисленная фазовая зависимость на Рис. 1а показана сплошной линией.

Соответствие модельной зависимости наблюдательным данным можно видеть на Рис. 1б, где в гауссах даны отклонения Δa наблюдаемых величин B_e от модельных. Все они находятся в пределах 3σ .

Меркаторская карта распределения магнитного поля показана на Рис. 2, а схема расположения диполей — на Рис. 3. Широта обоих магнитных полюсов $\delta = 0^\circ$, т.е. они находятся в плоскости экватора вращения. Сильный диполь располагается в центре звезды (см. Рис. 3), но его монополи удалены на $0.1 R_*$ от центра звезды к границе конвективного ядра. Монополи слабого диполя отстоят от центра на $0.3 R_*$. Расстояние

Таблица 1. Параметры модели центрального диполя

Знак монополя	Долгота монополя	Широта монополя	B_p , G	B_s , G	β	Смещение монополя
–	236°	–4°	+2245	1490	86°	0
+	56°	+4°	–2245			0

Таблица 2. Параметры двухдипольной модели

Знак монополя, заряд Q	Долгота монополя	Широта монополя	B_p , G	B_s , G	β	Смещение монополя
– 1	240°	0°	+2558	1359	90°	0.1 R_*
+ 1	56°	0°	–2361			0.1 R_*
– 0.58	130°	0°	–		90°	0.3 R_*
+ 0.58	150°	0°	–			0.3 R_*

Таблица 3. Координаты вычисленных пятен Ca II 3934 Å и Sr II 4215 Å

Пятно	Долгота	Диаметр	Долгота	Диаметр	Фаза центра	Фаза центра
	большого пятна	большого пятна	малого пятна	малого пятна	большого пятна	малого пятна
Ca	105°	60°	275°	40°	0.29	0.76
Sr	95°	60°	310°	45°	0.26	0.86

между монополями у центрального диполя равно $l = 0.2 R_*$, а у вторичного — $0.1 R_*$. Значительная величина l наблюдается и у других звезд со смещенными поперек оси диполями [6]. Координаты магнитных полюсов в случае моделей центрального или смещенного вдоль оси диполя совпадают с координатами магнитных монополей. Однако в случае двухдипольной конфигурации координаты магнитных полюсов другие. У звезды HD 49976 они следующие: отрицательный полюс — долгота $\lambda = 250^\circ$, широта $\delta = 0^\circ$; положительный полюс — долгота $\lambda = 45^\circ$, широта $\delta = 0^\circ$.

Следующим шагом является исследование распределения химических элементов Ca и Sr на полученной меркаторской карте.

4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАЛЬЦИЯ И СТРОНЦИЯ

Сделана попытка исследовать распределение стронция и кальция по линиям Sr II 4215 Å и Ca II 3934 Å по поверхности звезды с помощью

меркаторской карты распределения магнитного поля. На Рис. 4а и 4б точки — изменение эквивалентных ширин W_λ линий с фазой периода из работы [1]. Видно, что эквивалентные ширины W_λ линий Sr II 4215 Å и Ca II 3934 Å меняются подобным образом, причем наблюдаются два максимума, один сильный, другой слабый. Судя по форме кривых они достаточно симметричны, что позволяет предположить, что занимаемые элементами области круглые. Долгота центров областей концентрации элементов (максимумов W_λ) приведена в Таблице 3, широта принята равной 0° в соответствии с широтой магнитных полюсов в полученной модели, так как обычно элементы концентрируются вокруг магнитных полюсов. Очевидно, что элементы распределены в двух областях, причем сильная область занимает большую площадь, чем слабая.

Для простоты моделирования предполагаем, что элементы сконцентрированы в двух круглых пятнах с равномерным распределением содержания в них. Их положение и размер определены с помощью

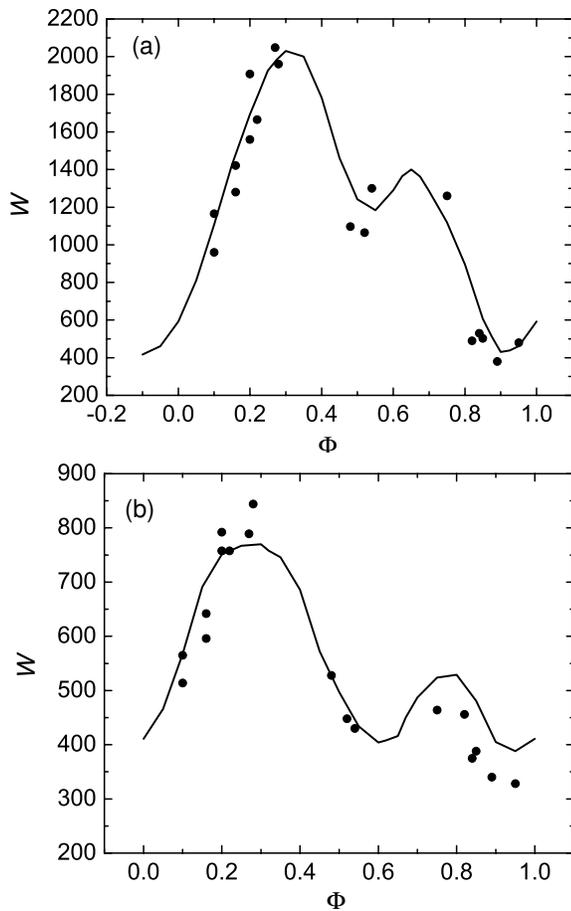


Рис. 4. Изменение эквивалентных ширин спектральных линий Ca (a) и Sr (b). Точки — измерения, сплошная линия — модель.

программы ROTATE, описанной в [7]. Суммарное содержание элемента в пятне складывается из его “фотосферного” содержания, одинакового для всех фаз вращения, и дополнительного количества этого элемента в каждом пятне, равномерного по всему пятну. Задаются также экваториальные координаты центров каждого пятна. Набор этих параметров позволяет рассчитать программой ROTATE профили линии во всех наблюдаемых фазах. Программа была успешно применена, в частности, для определе-

ния положения литиевых пятен и содержания лития в них для вращающихся пекулярных звезд [8].

После рассмотрения нескольких вариантов были найдены положения и диаметры “пятен” стронция и кальция, при которых достигнуто наилучшее совпадение рассчитанных эквивалентных ширин W_λ указанных линий с наблюдаемыми (Таблица 3), и определены содержания элементов в них (в шкале $\log N(\text{H}) = 12.0$), показанные в Таблице 4. На Рис. 4a и 4b сплошной линией показаны вычисленные фазовые зависимости $W_\lambda(\Phi)$ при предположении повышенного содержания Ca и Sr в пятнах. К сожалению, положение второго максимума определяется крайне ненадежно для обоих элементов из-за малого количества измерений, поэтому результат вычислений имеет только качественный характер.

На Рис. 2 показано положение пятен с повышенным содержанием Sr (сплошная линия) и Ca (штриховая линия). Центр большого пятна не совпадает с магнитным полюсом, скорее он ближе к области между полюсами. Малое пятно получилось ближе к магнитному полюсу, но тоже не совпадает с ним.

Из результатов ранних работ известно, что обычно в однодипольных звездах одни химические элементы концентрируются вокруг магнитных полюсов, другие — вдоль магнитного экватора, третьи — более или менее равномерно располагаются по поверхности. Скорее всего, области Ca и Sr связаны не с полюсами, а с областями между полюсами, потому что большое пятно попадает в обширную область между полюсами на $\lambda = 140^\circ$, а малое пятно ближе к узкому промежутку между полюсами на $\lambda = 330^\circ$. В таком случае можно предположить, что Ca и Sr принадлежат к тем элементам, которые в процессе диффузии скапливаются в области, где силовые линии магнитного поля параллельны поверхности звезды.

Для уточнения положения изучаемых областей используем данные фотометрии. В работе [2] приведены кривые блеска HD 49976, которые имеют экстремумы на $\Phi = 0.2$ и 0.7 . Их положение по фазе тоже не совпадает точно с положением магнитных полюсов, но ближе к ним. Поскольку фотометрическая переменность вызывается неравномерным распределением химических элементов, фотометрические экстремумы и экстремумы химических аномалий должны совпадать. Есть все основания сделать предварительный вывод, что элементы Ca и Sr, как и другие, избегают области вокруг магнитных полюсов с вертикально направленными силовыми линиями и накапливаются в областях с горизонтальными силовыми линиями. То, что их положение не точно попадает в область между полюсами, происходит, вероятно, вследствие того,

Таблица 4. Содержание элемента в пятнах

Элемент	Содержание элемента
Sr (+ полюс)	6.98
Sr (– полюс)	6.73
Ca (+ полюс)	7.07
Ca (– полюс)	6.34

Таблица 5. Содержание элементов у HD 49976 в двух фазах

Элемент	$\Phi = 0.59$	$\Phi = 0.77$	Солнце [11]	Δ	Элемент	$\Phi = 0.59$	$\Phi = 0.77$	Солнце [11]	Δ
Li I	3.90	4.30	1.01	+3.29	Ba II	3.95	4.00	2.14	+1.86
С I	8.15	8.40	8.40	0.00	La II	4.03	4.60	1.06	+3.54
N I	7.78	8.08	7.79	+0.29	Ce II	4.80	5.00	1.54	+3.46
Mg II	7.83	7.40	7.56	+0.27	Pr III	4.42	3.40	0.68	+3.74
Al I, II	7.56	7.05	6.41	+1.15	Nd II	3.70	3.90	1.38	+2.52
Si II	6.41	5.70	7.47	-1.06	Nd III	4.64	4.80	1.38	+3.42
S I	7.23	6.90	7.08	+0.15	Sm II	4.60	4.65	0.92	+3.73
Ca I, II	7.23	—	6.30	+0.93	Eu II	4.00	3.70	0.48	+3.52
Ti II	6.43	6.07	4.91	+1.52	Gd II	4.00	4.20	1.03	+3.17
V II	5.40	4.74	3.89	+1.51	Tb II	3.80	3.90	0.36	+3.54
Cr II	8.22	8.25	5.60	+2.65	Dy II	4.70	3.90	1.06	+3.64
Mn I, II	6.17	6.10	5.39	+0.78	Er II	3.90	3.90	0.88	+3.02
Fe I, II	8.70	8.60	7.46	+1.24	Tm II	3.60	3.50	0.06	+3.54
Sr II, 4215 Å	5.37	—	2.83	+2.54	Yb II	4.00	4.50	0.80	+3.70
Sr II, 5650 Å	5.82	4.47	—	+2.99	Lu II	3.50	3.50	0.06	+3.44

что Ca и Sr концентрируются не в круглых пятнах, а в областях более сложной формы.

5. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗВЕЗДЫ HD 49976

Возникает вопрос, почему именно Ca и Sr выделяются своей переменностью. Интересно сравнить их содержание с содержанием других химических элементов. Оно было получено в двух фазах: $\Phi = 0.59$ (спектр из спектральной базы ESO, FEROS, MPI-2.2, полученный 7 января 2012 г., MJD = 55933.28259172, диапазон длин волн 3565–9215 Å) и $\Phi = 0.77$ (спектр NES, 6-м телескоп CAO РАН, диапазон длин волн 5645–6822 Å) вблизи положительного и отрицательного максимумов магнитного поля. Оба спектра имеют сравнимое разрешение: 48 000 и 40 000 соответственно. Был использован метод синтетического спектра (программа *SynthV* В. Цымбала [9], версия 2012 г.). Модель атмосферы $T_{\text{eff}} = 9400$ К, $\log g = 3.8$ была подобрана по профилям водородных линий интерполированием моделей из сетки Куруца [10]. Отметим, что эта модель дала совпадающие средние содержания Fe I и Fe II (8.70 и 8.60) в фазах 0.59 и 0.77 соответственно. Результаты приведены в Таблице 5. Величина Δ в таблице — это максимальное отклонение содержания элемента от солнечного.

По сравнению с солнечными величинами в обеих фазах увеличено содержание лития, алюминия, кальция, элементов железной группы, стронция (определенное по линии 4215 Å в фазе 0.59 и 5650 Å в обеих фазах), бария и редких земель. Содержание кремния уменьшено примерно на порядок, содержание углерода и серы близко к солнечному, содержание магния несколько увеличено в фазе 0.59. Можно отметить достаточно большие различия содержаний Si II, V II, Dy II в двух фазах. Заметно различается содержание неодима, определенное по линиям Nd II и Nd III, что присуще всем Ар-звездам. Отметим, что блендирование многочисленных линий в спектре звезды заметно ограничивает точность наших результатов, величины $\log N$ могут содержать ошибки до 0.2–0.3 dex.

Содержания кальция $\log N = 5.38$ и стронция $\log N = 5.37$, определенные по профилям линий Ca II 3934 Å и Sr II 4215 Å в фазе 0.59, усредненные по полусфере, меньше, чем в пятнах. Из сравнения содержания Ca и Sr с другими элементами не ясно, почему интенсивности их линий изменяются сильнее других в областях с горизонтальными силовыми линиями, как Si в кремниевых звездах. Очевидно это связано с особенностями их распределения по глубине в атмосфере.

Наблюдается раздвоение линий ионизованных

Таблица 6. Некоторые примеры распределения химических элементов по поверхности

Звезда	Группа I	Группа II
HD 18296 (21 Per) [14, 15]	Eu, Gd, Mn, Ti	Sr, Ca, Si, Fe, Cr, Mg
HD 112413 (α^2 CVn) [16, 17]	Eu, Gd, Dy, Pr	Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Si, Mg
HD 125248 [18]	Eu, Gd, Ce	Ti, Fe
HD 196502 (73 Dra) [19]	Eu, Sr, Ti, Ca	Cr, Mg
HD 112185 (ϵ UMa) [20]	Cr, Fe	Ca, O, Ti, Mn
HD 124224 (CU Vir) [21]	He	Si
HD 21699 [12]	He	Si
HD 49976, эта работа		Ca, Sr

хрома и железа в фазе 0.59, что можно объяснить пятнами этих элементов на поверхности звезды.

Предполагается в будущем исследовать химический состав атмосферы звезды и в других фазах.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы получили модель магнитного поля звезды HD 49976 и попытались изучить распределение элементов Ca и Sr по поверхности. Известно, что обычно в однодипольных магнитных звездах одни химические элементы концентрируются вокруг магнитных полюсов, другие — вдоль магнитного экватора, третьи — более или менее равномерно располагаются по поверхности. К сожалению, наш результат исследования распределения Ca и Sr получился неоднозначным, скорее всего потому, что распределение магнитного поля по поверхности сложное, не такое как в случае центрального диполя. Подобные многодипольные структуры имеют 17% магнитных звезд, а сильные деформации магнитных полей у них являются признаком мощных аккреционных воздействий на ранних стадиях эволюции. Положение максимумов $W_\lambda(\text{Ca})$ и $W_\lambda(\text{Sr})$ по долготе могло нарушиться вследствие влияния бленд $\text{Ce II } 3933.73 \text{ \AA}$ и $\text{Rb I } 4215.519 \text{ \AA}$, и оно определяется недостаточно надежно вследствие малого числа измерений по фазе. Таким образом, очевидно, что количество измеренных данных в таком сложном случае, как HD 49976, может быть недостаточным, и необходимы дополнительные измерения для уточнения результатов. Предварительно можно предположить, что исследуемые элементы концентрируются, скорее всего, между полюсами. Вполне возможно, что форма областей их концентрации не круглая. Очевидно, что исследование звезд со сложной структурой магнитного поля необходимо проводить более сложными методами, такими как Доплер-Зеемановское картирование.

В работах [12, 13] мы исследовали распределение ряда элементов по поверхности звезды HD 18296 (21 Per). Оказалось, что по характеру распределения элементы разделяются на две группы. В группу I входят Eu, Gd, Ti, Mn, они четко концентрируются в дух противоположно расположенных “пятнах,” совпадающих с максимумами магнитного поля [12]. В группу II входят Fe, Ca, Si, Sr, Cr, Mg. Эти элементы распределены широко “пятнами” и не так сконцентрированы, как элементы группы I. Такие же группы имеются и у других звезд, как стало ясно уже в ранних работах. Некоторые примеры приведены в Таблице 6.

Из этих работ видно, что элементы группы II часто располагаются не только в виде широких пятен, но и в кольцах вокруг магнитных полюсов. Наблюдаются также относительные смещения пятен разных элементов. Поэтому возможные смещения “пятен” Ca и Sr относительно магнитных полюсов у HD 49976 не являются чем-то исключительным. Только у более горячих звезд, таких как CU Vir и HD 21699, гелий определенно концентрируется вокруг магнитных полюсов [14, 15], а Si — вдоль магнитного экватора [21], и эти свойства хорошо объясняются теоретически диффузией в присутствии магнитного поля.

Из Таблицы 6 видно, что главной проблемой является то, что одни и те же элементы у одних звезд концентрируются возле магнитных полюсов, у других — между ними. Элементы группы I накапливаются в областях с вертикальными силовыми линиями под действием радиационного давления и ветра. Этот предварительный вывод важен, поскольку в отличие от He и Si, поведение Ca и Sr теоретически никем не рассматривалось. В отличие от HD 49976 звезды из Таблицы 6 имеют простые дипольные конфигурации.

Интересно рассмотреть результаты исследования распределения химических элементов, полу-

ченные более рафинированными методами, например методом Доплер-Зеемановского картирования [22]. В этой работе исследовано распределения Cl, Si, Ti, Cr, Fe и Nd по поверхности звезды α^2 CVn и найдено, что они, в общем, коррелируют с распределением магнитного поля. Автор делает заключение, что результаты его моделирования прекрасно демонстрируют детали сложного взаимодействия между магнитным полем и звездной атмосферной плазмой. Например, Cr концентрируется в виде кольца вокруг положительного магнитного полюса и двух симметрично расположенных пятен примерно в пересечении вращательного и магнитного экватора. В то же время мы видим очень хорошее согласие с результатами [16, 17]. Очевидно, что по фазовым зависимостям $W_\lambda(\Phi)$ не всегда можно заметить тонкую структуру распределения химических элементов, а методика [22] для получения достаточно надежных данных требует слишком высокого отношения S/N в спектрах, что возможно только для самых ярких звезд. Можно надеяться, что оба метода дополняют друг друга. Из приведенных данных ясно, однако, что проблема диффузии химических элементов еще далека от решения. Кроме того, распределение элементов по поверхности более надежно изучать при условии, что магнитное поле измерено по линиям водорода и у звезд с простыми однодипольными конфигурациями.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят В. Цымбала за предоставление программы *SynthV*, авторов и администрацию баз данных ESO Spectra archive за спектр HD 49976 и VALD за список спектральных линий. Наблюдения на 6-метровом телескопе БТА проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракты 14.518.11.7070, 16.518.11.7073).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. A. Pilachowski et al., *Astronom. and Astrophys.* **37**, 275 (1974).

2. F. A. Catalano and F. Leone, *Astronom. and Astrophys. Suppl.* **108**, 595 (1994).
3. Yu. V. Glagolevskij, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **53**, 33 (2002).
4. E. Gerth, Yu. V. Glagolevskij, and G. Scholz, in *Proc. Int. Conf. on Stellar magnetic fields*, Ed. by Yu. V. Glagolevskij and I. I. Romanyuk (Moscow, 1997), p. 67.
5. E. Gerth and Yu. V. Glagolevskij, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **56**, 25 (2003).
6. Yu. V. Glagolevskij and E. Gerth, in *Proc. Int. Conf. on Magnetic stars*, Ed. by I. I. Romanyuk and D. O. Kudryavtsev (SAO RAS, Nizhnii Arkhyz, 2011), p. 147.
7. N. S. Polosukhina, A. V. Shavrina, M. Hack, et al., *Astronom. and Astrophys.* **357**, 920 (2000).
8. A. V. Shavrina, Yu. V. Glagolevskij, N. A. Drake, et al., *Odessa Astron. Pub.* **21**, 111 (2008).
9. V. V. Tsybal, *ASP Conf. Ser.* **108**, 198 (1996).
10. R. Kurucz, *CDR 1–23* (1993).
11. M. Asplund et al., *Annu. Rev. Astronom. Astrophys.* **47**, 1 (2009).
12. Yu. V. Glagolevskii, K. I. Kozlova, and N. S. Polosukhina, *Astrophysics* **10**, 327 (1974).
13. Yu. V. Glagolevskij, *Astrophysical Bulletin* **65**, 34 (2010).
14. Yu. V. Glagolevskij, A. V. Shavrina, J. Sylvestre, et al., *Astrophysical Bulletin* **64**, 166 (2009).
15. A. V. Shavrina, Yu. V. Glagolevskij, J. Silvester, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **401**, 1882 (2010).
16. D. M. Pyper, *Astrophys. J.* **18**, 347, 1969.
17. P. H. Кумайгородская, И. М. Копылов, *Известия САО* **4**, 50 (1970).
18. A. Deutsh, *Proc. IAU Symp. 6 on Electromagnetic Phenomena in Cosmical Physics* (Cambridge, 1958), p. 209.
19. G. Preston, *Astrophys. J.* **150**, 871 (1967).
20. Yu. V. Glagolevskij and E. Gerth, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **46**, 123 (1998).
21. Yu. V. Glagolevskij and E. Gerth, *Astronom. and Astrophys.* **382**, 935 (2002).
22. O. Kochukhov, in *Proc. Int. Conf. on Magnetic stars*, Ed. by Yu. V. Glagolevskij, D. O. Kudryavtsev, and I. I. Romanyuk (SAO RAS, Nizhnii Arkhyz, 2004), p. 64.

Features of Calcium and Strontium Distribution on the Surface of CP Star HD 49976**Yu. V. Glagolevskij, A. V. Shavrina, G. A. Chuntanov, D. A. Lyashko**

Modelling the magnetic field structure in HD 49976, we obtained a map of its magnetic field distribution on the surface and its main parameters. Simulating the distribution of Ca and Sr by the phase dependences of the Ca II 3934 Å and Sr II 4215 Å equivalent line widths revealed that their abundances are most likely increased between the magnetic poles. An insufficiently clear result is due to the structure of the magnetic field of HD 49976, which proved to be complex, not corresponding to the central dipole. It is modelled by two dipoles, the stronger of them is in the center of the star, and the other, weaker, is at distance of $0.3 R_*$ from the center. The synthetic spectrum method yielded abundances of 28 elements in the moments of magnetic field extrema. The carbon and sulfur abundances proved to be close to the solar values, silicon showed a deficit of 1.0 dex, lithium, calcium, iron and the iron peak elements, strontium, rare earths are in excess, especially significant in the case of rare earths. High-resolution spectropolarimetric observations closely covering the entire rotation period are required to investigate the distribution of chemical elements in complex multi-dipole magnetic configurations, applying the Magnetic Doppler Imaging method.

Keywords: *stars: chemically peculiar—stars: chemical composition—stars: magnetic field—stars: individual: HD 49976*