

УДК 524.35-337

## МАГНИТНЫЕ ЗВЕЗДЫ С БОЛЬШИМИ ДЕПРЕССИЯМИ В КОНТИНУУМЕ. 2. HD 27404 — КРЕМНИЕВАЯ ЗВЕЗДА СО СЛОЖНЫМ СТРОЕНИЕМ ПОЛЯ

© 2017 Е. А. Семенко<sup>1\*</sup>, И. И. Романюк<sup>1</sup>, Е. С. Семенова<sup>2</sup>,  
А. В. Моисеева<sup>1</sup>, Д. О. Кудрявцев<sup>1</sup>, И. А. Якунин<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия

Поступила в редакцию 15 августа 2017 года; принята в печать 14 сентября 2017 года

Наблюдения химически пекулярной звезды HD 27404 на телескопе БТА САО РАН показали наличие сильного магнитного поля с продольной компонентой, меняющейся сложным образом в пределах от  $-2.5$  до  $1$  кГс. Оценка фундаментальных параметров звезды ( $T_{\text{eff}} = 11\,300$  К,  $\lg g = 3.9$ ) получена путем анализа фотометрических индексов в женевской системе и системе Стрёмгрена–Кроуфорда. Зарегистрированы слабые колебания лучевой скорости, которые могут быть связаны с присутствием близкой звезды-компаньона или наличием пятен химического состава в фотосфере. Экспресс-оценка содержания ряда ключевых химических элементов позволяет говорить о HD 27404 как о химически пекулярной звезде A0–B9 типа SiCg или Si+.

Ключевые слова: *звезды: магнитное поле — звезды: химически пекулярные — индивидуальные: HD 27404*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

С точки зрения физики звёздные атмосферы можно рассматривать как естественные лаборатории. Многообразие физических условий делает возможным изучение общих закономерностей строения звёздных атмосфер и их эволюции. Отдельный интерес для исследований представляет явление магнетизма звёзд, поскольку характер процессов, которые протекают в подобных объектах, может быть обусловлен серьезным влиянием магнитного поля. Наиболее сильные магнитные поля величиной до десятков килогаусс наблюдаются у невырожденных объектов в верхней части Главной последовательности. Здесь, в области эффективных температур  $6500\text{--}25\,000$  К, наряду с большим количеством звёзд с нормальным, т.е. близким к солнечному, химическим составом, есть примерно  $10\text{--}15\%$  звёзд с признаками повышенного или пониженного содержания отдельных химических элементов в фотосфере. Следуя общепринятой терминологии, такие звёзды называют химически пекулярными, или CP-звёздами [1, 2]. В свою очередь часть из них относится к группе так называемых «магнитных» (mCP) звёзд. Характерная особенность этих объектов — наличие сильных

структурированных магнитных полей, стабильных на больших временных масштабах (годы и десятилетия) и покрывающих всю поверхность. Усилиями многих коллективов количество известных mCP-звёзд сейчас удалось приблизить к 500, что составляет около 1% от всех звёзд в том же диапазоне эффективных температур. Удобство изучения магнетизма по наблюдениям CP-звёзд состоит в том, что всегда можно сформировать контрольную выборку из «нормальных» — немагнитных — звёзд. Однако во многих случаях из-за наблюдаемого разброса в значениях физических параметров CP-звёзд размер выборок по отдельным критериям — например, по типам химических аномалий или периодам вращения — всё ещё оказывается недостаточным для надёжных статистических выводов. Таким образом, перед нами встаёт проблема расширения выборки известных магнитных звёзд.

Повысить эффективность поиска можно, выявив характерные признаки mCP-звёзд, которые в идеальном случае были бы доступны для количественного измерения более простыми, чем спектрополяриметрия, методами: например, с помощью фотометрии или спектроскопии низкого разрешения. В таком случае становится возможным отбор большого числа наиболее вероятных звёзд-кандидатов для последующего исследования на

\*E-mail: sea@sao.ru

больших телескопах, наблюдательное время на которых всегда ограничено. Один из используемых критериев преселекции основан на существовании в непрерывных спектрах CP-звёзд областей с повышенным поглощением — депрессий. Наиболее выделяющаяся депрессия с центром на длине волны  $5200 \text{ \AA}$  количественно описывается индексом  $Z$  в Женевской фотометрической системе и индексом  $\Delta a$  — в Венской. В работе [3] мы показали, что между величиной магнитного поля на поверхности звезды и глубиной депрессии на  $5200 \text{ \AA}$  существует уверенная корреляция. Используя этот факт, мы наблюдали на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН 96 звёзд-кандидатов в mCP с сильными депрессиями и обнаружили магнитное поле у 72 из них. Главной целью работы [3] был поиск новых магнитных звёзд. В настоящее время исследования в этом направлении продолжаются.

Глубокий анализ процессов, протекающих в атмосферах mCP-звёзд, требует знания характеристик как самих звёзд (сюда входят масса, скорость вращения, возраст, фундаментальные параметры атмосферы и её химический состав), так и величины их магнитного поля. Детально цели такого анализа изложены в статье [4]. В ней мы исследовали звезду HD 5601 с повышенным содержанием кремния: было измерено и изучено ее продольное магнитное поле  $B_e$  в зависимости от фазы периода вращения, выполнена оценка химического состава атмосферы и найдены другие физические параметры. Также мы количественно оценили параметры наклонного ротатора — модели, которая используется для описания геометрии магнитного поля CP-звёзд. Настоящая работа содержит результаты исследования химически пекулярной звезды HD 27404, выполненного по той же схеме, что и в первой статье цикла.

## 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О HD 27404

В каталоге химически пекулярных звёзд Ренсона и Манфруа [2] указано, что звезда HD 27404 (BD +28°642  $\equiv$  HyIC 20262  $\equiv$  V 1140 Tau  $\equiv$  RNS 7030) спектрального класса A0 имеет аномалии кремниевого типа.

Результаты фотометрии в Женевской системе показывают, что в непрерывном спектре звезды на  $\lambda 5200 \text{ \AA}$  наблюдается сильная депрессия: индекс  $Z$  равен  $-0^m052$  [5]. Авторы публикации [5] на основе полученной ими корреляции между интенсивностью депрессии и величиной поверхностного поля  $B_s$  предположили, что поле в случае HD 27404 может достигать  $3.1 \text{ кГс}$ .

Спектральные наблюдения HD 27404 с низким разрешением на 1-м телескопе САО РАН в 2002 г.

подтвердили существование депрессии в континууме, и объект был включён в программу наблюдений на телескопе БТА. Магнитное поле у звезды было обнаружено на 6-м телескопе уже в первых наблюдениях. В дальнейшем было решено продолжить мониторинг магнитного поля звезды для построения фазовой кривой и модели магнитного поля.

В 2008 г. Кудрявцев [6] предпринял попытку определить эффективную температуру звезды и ускорение свободного падения на ее поверхности. Согласно его оценкам, HD 27404 является горячей ( $T_{\text{eff}} = 10\,700 \text{ К}$ ) и достаточно компактной ( $\lg g = 4.38$ ) звездой. Однако полученные значения фундаментальных параметров не согласуются с показателем цвета  $B - V = +0.26$ . Такая величина  $B - V$  характерна для звезды класса A8 с эффективной температурой около  $8000 \text{ К}$ . Объяснить расхождение в оценках можно, если предположить наличие значительного межзвёздного поглощения в направлении HD 27404. По измеренному спутником GAIA параллаксу ( $\pi = 5.52 \text{ mas}$ ) расстояние до звезды равно  $180 \text{ пк}$ . С одной стороны, на таком близком расстоянии межзвёздным поглощением в обычных условиях можно пренебречь, но с другой — при галактических координатах звезды  $l = 168^\circ$ ,  $b = -14^\circ$  можно ожидать, что ее излучение испытывает значительное поглощение межзвёздным веществом, сконцентрированным в плоскости Галактики. Это подтверждает и инфракрасный избыток потока HD 27404, о котором говорится в статье [7].

HD 27404 относится к группе умеренных ротаторов, о чем свидетельствует незначительное вращательное уширение линий в спектрах звезды. Анализируя данные, полученные на телескопе БТА со спектрографом ОЗСП, ранее мы оценили величину проекции скорости вращения на луч зрения  $v \sin i$  как равную  $37 \text{ км с}^{-1}$  [8]. Звезда является фотометрически переменной. В каталоге [9] для периода переменности приведено значение  $P = 2^d77929$ . Результаты анализа фотометрии со спутника STEREO ( $P = 2^d7793$  [10]) хорошо согласуются со значениями периода из работы [9].

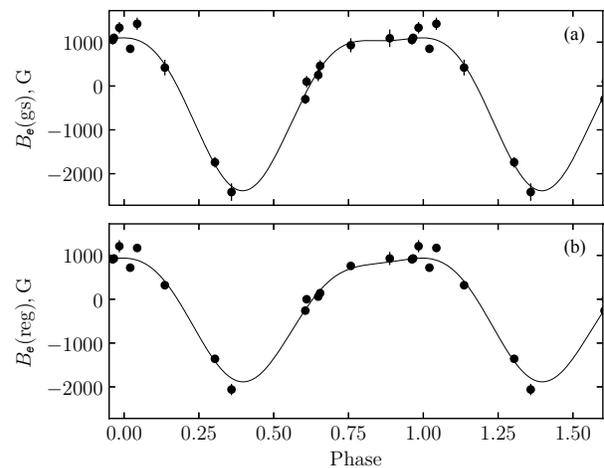
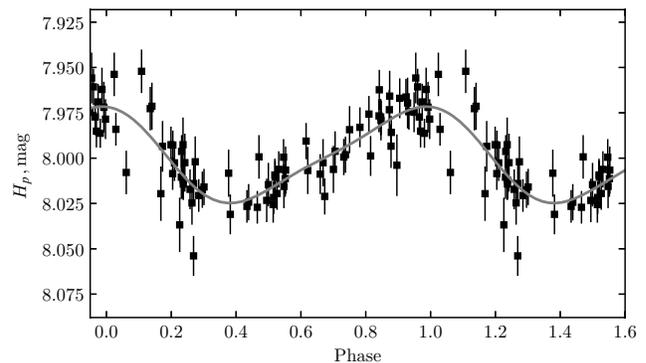
Сведения в литературе о лучевой скорости ( $V_r$ ) звезды не дают оснований предполагать наличия у неё близких спутников. В трёх разных источниках значения  $V_r$  в пределах ошибок совпадают:  $+9.0 \text{ км с}^{-1}$  [11],  $+10.0 \text{ км с}^{-1}$  [8],  $+7.8 \text{ км с}^{-1}$  в базе SIMBAD. Таким образом, можно утверждать, что, судя по спектрам, звезда является одиночной. В то же время HD 27404 не образует и широкой пары, о чём свидетельствует нулевой результат попытки разрешить звезду на компоненты в ходе спекл-интерферометрических наблюдений на БТА [12].

**Таблица 1.** Результаты измерения магнитного поля HD 27404

HJD (2450000+)	$S/N$	$B_e \pm \sigma$ , Гс	
		gauss	regres
2918.4060	100	$1090 \pm 200$	$930 \pm 150$
3274.4226	110	$1330 \pm 130$	$1210 \pm 140$
3275.4643	170	$-2420 \pm 200$	$-2060 \pm 130$
3362.3080	150	$-300 \pm 110$	$-260 \pm 70$
4015.5610	150	$250 \pm 140$	$60 \pm 80$
5075.5681	170	$1420 \pm 140$	$1170 \pm 60$
6234.3050	100	$1050 \pm 100$	$910 \pm 60$
6993.5355	130	$420 \pm 180$	$320 \pm 80$
6995.2626	160	$930 \pm 160$	$760 \pm 70$
7289.4570	150	$100 \pm 130$	$0 \pm 70$
7290.4460	150	$1100 \pm 90$	$930 \pm 50$
7355.3084	170	$-1740 \pm 120$	$-1360 \pm 60$
7592.5249	100	$460 \pm 130$	$140 \pm 50$
7593.5403	120	$850 \pm 90$	$720 \pm 50$

### 3. СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Спектрополяриметрические наблюдения звезды HD 27404 с 2003 по 2016 гг. велись в САО на Основном звездном спектрографе телескопа БТА [13, 14]. Описание методов регистрации данных и последовательность их обработки для наблюдений звезды до декабря 2004 г. можно найти в работе [3], для новых наблюдений соответствующие сведения даны, например, в работе [15]. Выдержка из журнала наблюдений приведена в таблице 1, где колонки содержат информацию о гелиоцентрической юлианской дате наблюдений, отношении  $S/N$  для каждого полученного спектра и значениях эффективного продольного магнитного поля  $B_e$  со среднеквадратичной ошибкой  $\sigma$ . Магнитное поле измерялось двумя методами: классическим, который также известен как «позиционный» и является модификацией оригинального метода Бэбкока, а также по методу, в котором продольное поле звезды находится как коэффициент линейной зависимости между сигналом круговой поляризации и крутизной профилей спектральных линий. Результаты, полученные с помощью модифицированного метода Бэбкока, обозначены в таблице пометкой «gauss,» тогда как результаты

**Рис. 1.** Переменность эффективного продольного магнитного поля HD 27404 с периодом 2.77929 суток по измерениям классическим методом (а) и методом регрессии (б).**Рис. 2.** Фотометрическая переменность HD 27404 по данным HIPPARCOS с периодом 2.77929 суток.

применения второго метода представлены с пометкой «regres.» Более подробно оба метода с оригинальными ссылками описаны в работе [15].

Из значений таблицы 1 видно, что продольное поле звезды в моменты наблюдений меняется в пределах от  $-2420$  до  $1330$  Гс. Период изменения  $B_e$  составляет  $P = 2^d 77929 \pm 0.00163$ . Полученное значение полностью согласуется с литературными данными, приведёнными выше. Кривая, наилучшим образом описывающая изменения магнитного поля с указанным периодом, показана на рис. 1.

Как видно на рис. 1, продольное поле меняется несинусоидально: кривая  $B_e$  имеет широкий максимум и узкий глубокий минимум.

Интересно сравнить поведение кривой продольного поля с изменением блеска звезды. Продолжительные ряды фотометрических наблюдений HD 27404, пригодные для анализа, были получены с орбиты в ходе выполнения миссии HIPPARCOS.

На рис. 2 показана фотометрическая переменность звезды с теми же параметрами, что и для случая магнитного поля:

$$\text{HJD} (B_e^{\max}) = 2457284.9823 + 2^d 77929 E.$$

Отчётливо видно, что положения экстремумов продольного поля и блеска звезды совпадают, но в те фазы, где поле  $B_e$  растёт и выходит на горизонтальный максимум, наблюдается постепенный рост блеска, после чего он быстро уменьшается. Такая картина переменности может свидетельствовать о сложной конфигурации поля. В первом приближении строение магнитного поля можно попытаться представить в виде диполя с напряжённостью поля на полюсе около 7–8 кГс. В предположении, что  $R_* = 2.5\text{--}3 R_\odot$ , ось вращения звезды должна быть ориентирована под углом  $i = 40\text{--}50^\circ$  к наблюдателю, тогда угол  $\beta$  между осями вращения и магнитного диполя составит  $60\text{--}70^\circ$ . При меньших значениях  $R_*$  найти модель диполя, адекватно описывающую наблюдаемую переменность магнитного поля, не представляется возможным. Однако такая интерпретация структуры поля выглядит слишком упрощённой. Наличие плоского участка на кривой продольного поля HD 27404 может быть объяснено в рамках модели смещённого относительно центра звезды диполя.

#### 4. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗВЕЗДЫ

Согласно сведениям из каталога Ренсона и Манфруа [2], HD 27404 как типичная звезда спектрального класса A0 должна иметь эффективную температуру  $T_{\text{eff}}$  около 10 000 К. Однако в литературе для нее можно найти два набора значимо различающихся между собой оценок  $T_{\text{eff}}$ . Так, например, в статье МакДоналда и др. [7] приведена эффективная температура  $T_{\text{eff}} = 7193$  К, полученная статистически из оценок ИК-избытка в распределении энергии очень большого числа звёзд. Близкое значение температуры ( $T_{\text{eff}} = 7590$  К) приведено в статье Мёрфи и Паунзена [16], посвящённой исследованию свойств звезд типа  $\lambda$  Boo. Авторы отмечают, что для определения  $T_{\text{eff}}$  они использовали калибровки индексов фотометрических систем Джонсона  $UBV$  и Стрёмгрена–Кроуфорда  $uvby\beta$ , а также семицветной Женевской системы. Эти же авторы утверждают, что в оценках учитывалась величина межзвёздного поглощения. Одновременно в статье [10] для звезды HD 27404 указано значение  $T_{\text{eff}} = 10\,945$  К, которое также было получено путём применения фотометрических калибровок с учётом поправок для CP-звёзд из статьи [17]. Притом авторы статьи [10] декларируют достаточно высокую точность определения  $T_{\text{eff}} = 160$  К.

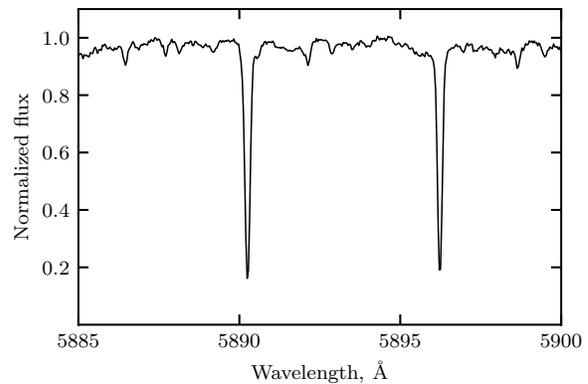


Рис. 3. Фрагмент эшелле-спектра HD 27404 с линиями D1, D2 натрия межзвёздного происхождения.

Причина столь больших расхождений в оценках эффективной температуры, на наш взгляд, заключается в правильности учёта межзвёздного поглощения, которое в направлении области звездообразования Тельца–Возничего, куда попадает и HD 27404, составляет значительную величину. Согласно результатам спектрофотометрических исследований, которые опубликованы в статье Кеньона и др. [18], для звезды HD 27404 избыток цвета  $E(B - V) = 0^m 40$  (т.е.  $A_V = 3.11 E(B - V) = 1^m 24$ ). Присутствие межзвёздных облаков подтверждается спектральными наблюдениями звезды: в архиве данных БТА содержится один эшелле-спектр HD 27404, полученный в 2006 г. (HJD = 2454012.5384), в котором линии D1, D2 дублета натрия имеют большую интенсивность (рис. 3). Эквивалентная ширина линии D1  $W_\lambda = 180$  мÅ в соответствии с калибровками из статьи Мунари и Цвиттера [19] приводит к значению  $E(B - V) = 0^m 06\text{--}0^m 07$ , что дает величину поглощения  $A_V \approx 0^m 2$ . Несколько большее значение,  $A_V = 0^m 35$ , получается, если воспользоваться картами поглощения из работы [20]. Таким образом, понятно, что в попытках оценить эффективную температуру HD 27404 по данным фотометрии пренебрегать межзвёздным покраснением нельзя.

В базе данных GCPD<sup>1</sup> содержатся сведения о фотометрических индексах звезды в системах семицветной Женевской и  $uvby\beta$ . Мы воспользовались соответствующими калибровками индексов из работ [21] и [22], чтобы оценить значения эффективной температуры и ускорения силы тяжести на поверхности звезды. Принимая во внимание межзвёздное покраснение в Женевской системе для HD 27404  $E(B2 - V1) = 0^m 06$ , мы нашли следующие комбинации параметров:  $T_{\text{eff}} = 11\,740$  К и

<sup>1</sup><http://obswww.unige.ch/gcpd/>

$\lg g = 4.44$  в случае солнечной металличности, а также  $T_{\text{eff}} = 11\,600$  К и  $\lg g = 4.43$ , если металличность звезды в десять раз больше. Хотя и очевидно, что ускорение силы тяжести несколько переоценено, найденные значения эффективной температуры хорошо между собой согласуются. Фотометрические калибровки индексов в системе  $uvby\beta$  с поправкой на пекулярную природу звезды также дают две оценки параметров:  $T[u - b] = 10\,730$  К и  $T[c1] = 11\,160$  К. Ускорение силы тяжести  $\lg g$  несколько меньше и равно 4.1. Среднее значение эффективной температуры, найденной по данным фотометрии, составляет  $11\,300$  К.

Чтобы убедиться, что  $T_{\text{eff}} = 11\,300$  К — правильное значение, и звезда не является холодной Ар, как это следует из работ [7] и [16], мы рассчитали и сравнили теоретический участок спектра, содержащий линию  $H\beta$ , с наблюдаемым. Расчёт спектра был выполнен в ЛТР-приближении с применением программы SynthMag [23] и моделей атмосферы Куруца [24] для соответствующих атмосферных параметров. Атомные данные для линий, наблюдаемых в спектре HD 27404, были получены из базы данных VALD3<sup>2</sup> [25]. Конфигурацию магнитного поля мы приняли таковой, чтобы модуль поля на поверхности  $B_s$  был близок к 3 кГс, в согласии с наблюдаемыми величинами продольного поля  $B_e$  в модели наклонного ротатора. Что касается химического состава, то мы не ставили своей задачей точное количественное описание фотосферных содержаний химических элементов. Этому будет посвящена отдельная статья. На данном этапе мы искусственно увеличили содержание ряда элементов (в первую очередь Fe, Cr, Mn, Ti и редкоземельных Nd, Pr и Tb), чтобы описать многообразие линий, регистрируемых в спектре. Наблюдаемый спектр звезды, его модель и их разница представлены на рис. 4. В приведённом примере синтетического спектра избыток железа по сравнению с Солнцем достигает 1 dex, кремния — 1.10 dex, магния — 0.5 dex, титана — 1.20 dex, хрома — 2 dex, марганца — 1.65 dex, лантана и других редкоземельных элементов (Pr, Nd, Tb) — от 2.9 до 3.6 dex. Отдельно стоит отметить несколько меньшее значение ускорения силы тяжести, которое мы использовали в расчётах. Для спектра, представленного на рис. 4,  $\lg g = 3.9$ , что хоть и меньше значения 4.1, найденного ранее из фотометрии, но в пределах ошибки ( $\pm 0.15$ ) с ним совпадает.

В статье [8] была представлена оценка проекции скорости вращения звезды на луч зрения, исходя из зависимости полуширины спектральных линий от вращательного уширения. В этой работе мы

**Таблица 2.** Результаты измерения лучевой скорости звезды HD 27404. Характерная точность измерений около  $1 \text{ км с}^{-1}$

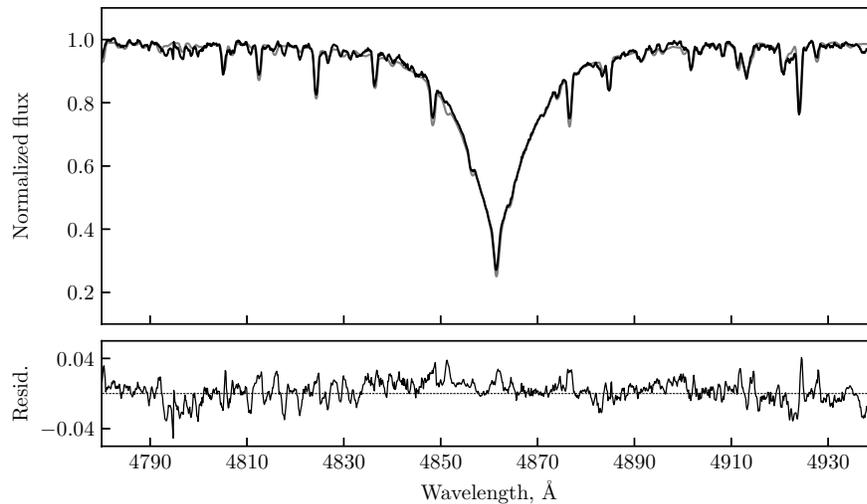
HJD (2450000+)	$V_r$ , км с <sup>-1</sup>	HJD (2450000+)	$V_r$ , км с <sup>-1</sup>
2918.40598	-6	6993.53551	0
3274.42256	-2	6995.26258	4
3275.46432	0	7289.45703	6
3362.30797	4	7290.44601	0
4015.56095	-12	7355.30843	4
5075.56810	10	7592.52490	10
6234.30503	4	7593.54026	8

уточнили значение  $v \sin i$  путём сравнения синтетических профилей линии Fe II 4508.28 Å с наблюдаемыми. Данная линия практически неblendирована, присутствует почти во всех спектрах, полученных на ОЗСП, а ее слабая чувствительность к магнитному полю ( $g_L = 0.5$ ) позволяет использовать ее для изучения вращения звезды. Среднее значение  $v \sin i$  по двенадцати измерениям, равное  $38.0 \pm 1.8 \text{ км с}^{-1}$ , прекрасно согласуется с нашей оценкой [8].

При сравнении между собой спектров звезды, полученных в разные фазы периода вращения, легко заметить сильную спектральную переменность. Глубина и форма профилей меняются у линий хрома (максимальная глубина в фазу минимума  $B_e$ ), железа (глубина наибольшая вблизи максимума  $B_e$ ), кремния (глубина в противофазе с  $B_e$ ). Линии магния имеют минимальную глубину в момент выхода величины продольного поля на плато вблизи его максимума. Кроме того, меняется положение отдельных линий, которые можно ассоциировать с редкоземельными элементами.

Лучевая скорость звезды также меняется со временем в небольших пределах (таблица 2). Для ее измерений был использован метод LSD (Least Squares Deconvolution) [26, 27]. В качестве маски был взят список линий, где большинство составили линии железа. Выбранный нами метод позволяет существенно повысить точность измерений за счёт анализа большого числа линий. Качество нашего спектрального материала, использованного в настоящей работе, позволяет в среднем достичь точности измерения лучевой скорости звезды около  $1 \text{ км с}^{-1}$ . Снижает точность разный уровень шума в спектрах и сложная структура среднего LSD-профиля, свидетельствующая о наличии пятен на поверхности звезды. Предварительный

<sup>2</sup><http://vald.astro.uu.se>



**Рис. 4.** Сравнение наблюдаемого спектра звезды HD 27404 в области линии водорода  $H\beta$  с теоретическим, рассчитанным для  $T_{\text{eff}} = 11300$  К и  $\lg g = 3.9$ . На нижнем графике представлена разница  $I_{\text{obs}} - I_{\text{comp}}$ .

анализ данных таблицы 2 на предмет возможной периодичности даёт набор значений периода изменения лучевой скорости в диапазоне от одного дня до нескольких десятков суток. Это может быть следствием как неравномерного распределения химических элементов в атмосфере HD 27404, так и наличия второго компонента, физически связанного с исследуемой звездой. Последний факт проверить на данном наборе спектров сложно из-за малой амплитуды переменности, но ещё в большей степени — по причине недостаточного количества измерений, что проявляется в широчайшем наборе возможных комбинаций орбитальных параметров.

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обобщая вышеизложенные результаты исследования, можно уверенно сказать, что HD 27404 — типичная химически пекулярная звезда спектрального класса B9—A0 с сильным переменным магнитным полем. Наши измерения продольной компоненты поля обнаруживают несколько более сложную, чем синусоида, форму кривой изменения  $V_e$  с плоским максимумом, что может свидетельствовать о недипольной конфигурации поля. Исходя из упрощённого представления о геометрии поля звезды, мы можем установить некоторые ограничения на размер HD 27404. Так, например, мы оцениваем радиус звезды в  $2.5\text{--}3 R_{\odot}$ . С другой стороны, зная расстояние и температуру, можно оценить ее светимость и определить место звезды на теоретической диаграмме Герцшпрунга—Рессела, что даст возможность судить о массе звезды и ее эволюции. С этой точки зрения получается, что светимость звезды  $\lg(L/L_{\odot}) = 1.53$ . При эффективной температуре  $T_{\text{eff}} = 11\,300$  К звезда на

диаграмме располагается несколько ниже ZAMS и имеет массу около двух масс Солнца. В таком случае ее радиус должен быть около  $1.5 R_{\odot}$ , что противоречит нашему выводу о радиусе звезды, полученному из анализа её магнитных свойств. Проблема, возникающая при определении эволюционного статуса звезды, в данном случае может быть следствием неполного учёта межзвёздного поглощения: если принять верхнюю оценку степени покраснения  $E(B - V) = 0^{\text{m}}4$  [18] за основу, получим, что светимость звезды  $\lg(L/L_{\odot})$  равна 1.9, а звезда оказывается немного отошедшей от ZAMS, но все ещё достаточно молодой. И, действительно, мы наблюдаем признаки молодых магнитных CP-звёзд: магнитное поле сложной или относительно сложной конфигурации, признаки пятен химического состава в атмосфере и сильный избыток редкоземельных элементов. Детальный анализ химического состава HD 27404 предполагается провести отдельно. Мы получили эшеллеспектры и для других звезд (HD 63347, HD 50341 и HDE 343872) с аналогичными характеристиками, которые интересно было бы сравнить между собой в рамках одной работы. Сейчас можно утверждать, что HD 27404 по степени аномалий может быть классифицирована как SiCr или Si+. Об избытке кремния свидетельствуют не только линии Si II в спектре, но и признаки линий триплета Si III  $\lambda 4553, 4568$  и  $4575 \text{ \AA}$ . Не до конца нами в настоящей работе выяснен вопрос двойственности звезды из-за малого количества наблюдений и слишком слабой переменности лучевых скоростей. Таким образом, мы планируем продолжить исследования свойств звезды HD 27404.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Российскому научному фонду за финансовую поддержку представленной работы (грант РНФ 14-50-00043).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. W. Preston, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **12**, 257 (1974).
2. P. Renson and J. Manfroid, *Astron. and Astrophys.* **498**, 961 (2009).
3. D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk, V. G. Elkin, and E. Paunzen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **372**, 1804 (2006).
4. I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, E. A. Semenko, and A. V. Moiseeva, *Astrophysical Bulletin* **71**, 447 (2016).
5. P. North and N. Cramer, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **58**, 387 (1984).
6. D. O. Kudryavtsev (private communication).
7. I. McDonald, A. A. Zijlstra, and M. L. Boyer, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **427**, 343 (2012).
8. D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and G. A. Solov'ev, *Astrophysical Bulletin* **62**, 147 (2007).
9. P. Renson and F. A. Catalano, *Astron. and Astrophys.* **378**, 113 (2001).
10. K. T. Wraight, L. Fossati, M. Netopil, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **420**, 757 (2012).
11. S. Grenier, M.-O. Baylac, L. Rolland, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **137**, 451 (1999).
12. Y. Y. Balega, V. V. Dyachenko, A. F. Maksimov, et al., *Astrophysical Bulletin* **67**, 44 (2012).
13. V. E. Panchuk, G. A. Chuntanov, and I. D. Naidenov, *Astrophysical Bulletin* **69**, 339 (2014).
14. G. A. Chountanov, in *Proc. Intern. Conf. on Magnetic Stars, Nizhnij Arkhyz, Russia, 2003*, Ed. by Y. V. Glagolevskij, D. O. Kudryavtsev, and I. I. Romanyuk (Nizhnij Arkhyz, 2004), pp. 286–291.
15. I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, E. A. Semenko, and I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **70**, 456 (2015).
16. S. J. Murphy and E. Paunzen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **466**, 546 (2017).
17. M. Netopil, E. Paunzen, H. M. Maitzen, et al., *Astron. and Astrophys.* **491**, 545 (2008).
18. S. J. Kenyon, D. Dobrzycka, and L. Hartmann, *Astron. J.* **108**, 1872 (1994).
19. U. Munari and T. Zwitter, *Astron. and Astrophys.* **318**, 269 (1997).
20. P. B. Lucke, *Astron. and Astrophys.* **64**, 367 (1978).
21. M. Kunzli, P. North, R. L. Kurucz, and B. Nicolet, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **122**, 51 (1997).
22. R. Napiwotzki, D. Schoenberner, and V. Wenske, *Astron. and Astrophys.* **268**, 653 (1993).
23. O. P. Kochukhov, in *Proc. Intern. Conf. on Physics of Magnetic Stars, Nizhnij Arkhyz, Russia, 2006*, Ed. by D. O. Kudryavtsev and I. I. Romanyuk (Nizhnij Arkhyz, 2007), pp. 61–80.
24. R. Kurucz, CD-ROMs (Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA, 1994).
25. T. Ryabchikova, N. Piskunov, R. L. Kurucz, et al., *Physica Scripta*, No. 90, 054005 (2015).
26. J.-F. Donati, M. Semel, B. D. Carter, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **291**, 658 (1997).
27. O. Kochukhov, V. Makaganiuk, and N. Piskunov, *Astron. and Astrophys.* **524**, A5 (2010).

## Magnetic Stars with Wide Depressions in the Continuum. 2. The Silicon Star with a Complex Field Structure HD 27404

**E. A. Semenko, I. I. Romanyuk, E. S. Semenova, A. V. Moiseeva, D. O. Kudryavtsev, and I. A. Yakunin**

Observations of the chemically peculiar star HD 27404 with the 6-m SAO RAS telescope showed a strong magnetic field with the longitudinal field component varying in a complicated way in the range of  $-2.5$  to  $1$  kG. Fundamental parameters of the star ( $T_{\text{eff}} = 11\,300$  K,  $\log g = 3.9$ ) were estimated analyzing photometric indices in the Geneva and in the Strömgren–Crawford photometric systems. We detected weak radial velocity variations which can be due to the presence of a close star companion or chemical spots in the photosphere. Rapid estimation of the key chemical element abundance allows us to refer HD 27404 to a SiCr or Si+ chemically peculiar A0–B9 star.

*Keywords: stars: magnetic field—stars: chemically peculiar—individual: HD 27404*