

УДК 52-14:524.35-337

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД, ОБНАРУЖЕННЫХ В ХОДЕ ИК-ОБЗОРА SDSS/APOGEE. I. HD 13404, HD 225114 И BD +64° 325

© 2025 И. И. Романюк^{1*}, И. А. Якунин¹, Е. П. Корчагина¹, А. В. Моисеева¹, В. Н. Аитов¹¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 1 октября 2025 года; после доработки 12 октября 2025 года; принята к публикации 20 октября 2025 года

В статье представлены результаты спектрополяриметрического мониторинга трех химически пекулярных звезд — HD 13404, HD 225114 и BD +64° 325, пекулярность которых была обнаружена в ходе ИК-обзора SDSS/APOGEE. Наблюдения проводились на 6-м телескопе БТА с анализатором круговой поляризации. Впервые для этих звезд построены фазовые кривые продольного магнитного поля, уточнены периоды их вращения по фотометрическим данным TESS. Обнаружены существенные различия в характере магнитной переменности: HD 13404 показывает слабую модуляцию, вероятно, из-за геометрии наблюдения, в то время как у HD 225114 и BD +64° 325 выявлена сложная топология магнитного поля, связанная с неоднородным распределением химических элементов.

Ключевые слова: *звезды: магнитное поле — звезды: химически пекулярные*

1. ВВЕДЕНИЕ

Глобально упорядоченные магнитные поля наблюдаются примерно у 10–20% промежуточных и массивных звезд главной последовательности спектральных классов F0–B2. Эти звезды обычно называются химически пекулярными (CP) и проявляют сильные избытки некоторых элементов железного пика, редкоземельных и ряда других элементов. Подобные эффекты объясняются действием магнитной диффузии, которая работает в стабильных лучистых атмосферах этих объектов.

Фундаментальные параметры CP-звезд не показывают значимых различий по сравнению с немагнитными звездами той же температуры. Однако скорости их вращения статистически ниже, чем у «нормальных» (Preston, 1974). Химические элементы неоднородно распределены как по поверхности, образуя пятна и кольцевые структуры, так и с глубиной (Michaud et al., 2015). Внешние слои этих звезд спокойные и лучистые, что исключает работу динамо для генерации наблюдаемых магнитных полей. По-видимому, магнитное поле CP-звезд является реликтовым, то есть унаследованным звездами на стадии коллапса протозвездного облака (Moss, 2001).

Одним из факторов, тормозящих эволюционные исследования сильных магнитных полей в CP-звездах, является недостаточное количество наблюдательных данных, пригодных для построения

модели магнитного поля. Расщепление спектральной линии вследствие эффекта Зеемана, благодаря которому возможно измерение магнитного поля в атмосфере звезды, чрезвычайно слабо по сравнению с другими эффектами уширения спектральных линий. Так, при полях менее 10 кГс, типичном значении для CP-звезд, зеемановское расщепление в визуальной области спектра будет иметь величину порядка 0.1–0.2 Å. Поэтому магнитные поля чаще всего диагностируются с помощью спектрополяриметрических наблюдений, которые используют другое проявление эффекта Зеемана — поляризацию спектральных линий (детальнее, например, в Romanuk, 2021).

Наиболее известным списком CP-звезд является каталог Renson and Manfroid (2009), содержащий сведения о более чем 8000 объектах. Примерно половина из них — это немагнитные Am-звезды, а вторая — потенциально магнитные Ap- и Bp-звезды. Однако реальные наблюдения магнитных полей с соответствующей аппаратурой проведены менее чем для 1000 из них.

В последние несколько лет выполнены большие спектральные обзоры, в частности LAMOST (Cui et al., 2012), SDSS/APOGEE (Majewski et al., 2017) и другие, при помощи которых обнаружены многие сотни новых CP-звезд (например, David-Uraz et al., 2021; Yakunin et al., 2023; Thomson-Paressant et al., 2024). Массовые наблюдения настолько большого количества CP-звезд метода-

*E-mail: roman@sao.ru

ми классической спектрополяриметрии потребовали бы значительного количества наблюдательного времени. Поэтому вопрос о поисках эффективных кандидатов в магнитные звезды не теряет своей актуальности.

Chojnowski et al. (2019) выделили 157 Ap-звезд с расщепленными компонентами из наибольшего до настоящего времени спектроскопического обзора SDSS (SDSS-III и IV) и спектрального ИК-обзора APOGEE. Зеемановское расщепление линий пропорционально квадрату длины волны (Babcock, 1947), поэтому в полосе H сдвиг расщепленных компонент на порядок сильнее, чем в визуальной области. Это и продемонстрировали в своей работе Chojnowski et al. (2019), оценив в ней модуль поверхностного поля B_s по неполяризованным спектрам в диапазоне 15 145–16 960 Å со спектральным разрешением $R = 22\,500$.

Около 85% данных о расщеплении в ИК-области и полях получено по линиям Ce III. После Ce III по частоте встречаемости в расщеплении идут линии Cr II. В среднем для каждой звезды Chojnowski et al. (2019) измерили 13 линий. Выборка Ap-звезд APOGEE в настоящий момент насчитывает 986 объектов.

Все звезды из списка Chojnowski et al. (2019) имеют узкие линии в спектрах, что, вероятнее всего, является следствием малой скорости вращения. Таким образом, в нашей выборке оказываются медленные ротаторы либо объекты, видимые со стороны полюса вращения ($\sin i$ имеет маленькую величину). Эти звезды в основном спектрального класса A с эффективной температурой 7000–9000 K по литературным данным. Периоды вращения звезд, представленные в работе Chojnowski et al. (2019), являются типичными для Ap/Vp-звезд — порядка одной недели.

В настоящей работе мы представляем результаты магнитного мониторинга трех звезд: HD 13404, HD 225114 и BD +64° 352, проведенным нами при помощи Основного звездного спектрографа (ОЗСП) БТА в период 2023–2025 гг.

2. МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Нами были отобраны 33 магнитные звезды из списка объектов Chojnowski et al. (2019) для проведения спектрополяриметрического мониторинга. Для 18 из них были получены первые спектроскопические наблюдения, показавшие, что у 15 CP-звезд достоверно выявлено наличие сильного магнитного поля. Оставшиеся три объекта, вероятно, также являются магнитными, однако для подтверждения требуются дополнительные наблюдения (Romanyuk et al., 2025).

Таблица 1. Данные по трем исследованным звездам: HD 13404, HD 225114 и BD +64° 352. В колонках таблицы представлены: (1) — название звезды в каталогах HD и BD; (2) — видимая звездная величина (Høg et al., 2000); (3) — спектральный класс и тип пекулярности из Renson and Manfroid (2009); (4) — параллакс по данным Gaia DR3 (Brown et al., 2021); (5) — оценка поверхностного магнитного поля (Chojnowski et al., 2019)

Звезда	V , mag	Sp pec	π , mas	$B_s \pm \sigma$, kG
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
HD 13404	8.74	A2 SrEu	4.6132	21.89 ± 0.52
HD 225114	8.10	A0 SrCrSi	3.6081	7.46 ± 0.53
BD +64° 352	9.52	B8 Si	1.9819	10.98 ± 0.55

В качестве первых объектов для детального анализа мы выбрали три CP-звезды с предположительно сильным магнитным полем: HD 13404, HD 225114 и BD +64° 352. В таблице 1 собраны основные данные о них. Для каждого объекта проведены наблюдения продольного компонента поля с целью получить кривую B_e и смоделировать магнитное поле.

2.1. Наблюдения

Наблюдения были выполнены в период 2023–2025 гг. на ОЗСП БТА¹ (Panchuk et al., 2014) с использованием анализатора круговой поляризации (Chountonov, 2016). В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась ПЗС-матрица E2V CCD42-90 размером 4600×2000 элементов. Текущая конфигурация спектрографа позволяет регистрировать со спектральным разрешением $R \approx 15\,000$ участок спектра размером около 600 Å; угол решетки выставлялся таким образом, чтобы в кадр попадал диапазон 4450–4950 Å. Время экспозиции выбиралось так, чтобы обеспечить $S/N \geq 150$.

Процесс обработки и экстракции одномерных спектров циркулярно-поляризованного излучения выполнялся в системе ESO-MIDAS при помощи контекста ZEEMAN (Kudryavtsev, 2000).

Для контроля инструментальной поляризации снимались спектры звезд-стандартов. Обычно это звезды двух типов: хорошо изученные магнитные CP-звезды и звезды с заведомо нулевым магнитным полем.

¹<https://www.sao.ru/hq/lizm/mss/en/index.html>

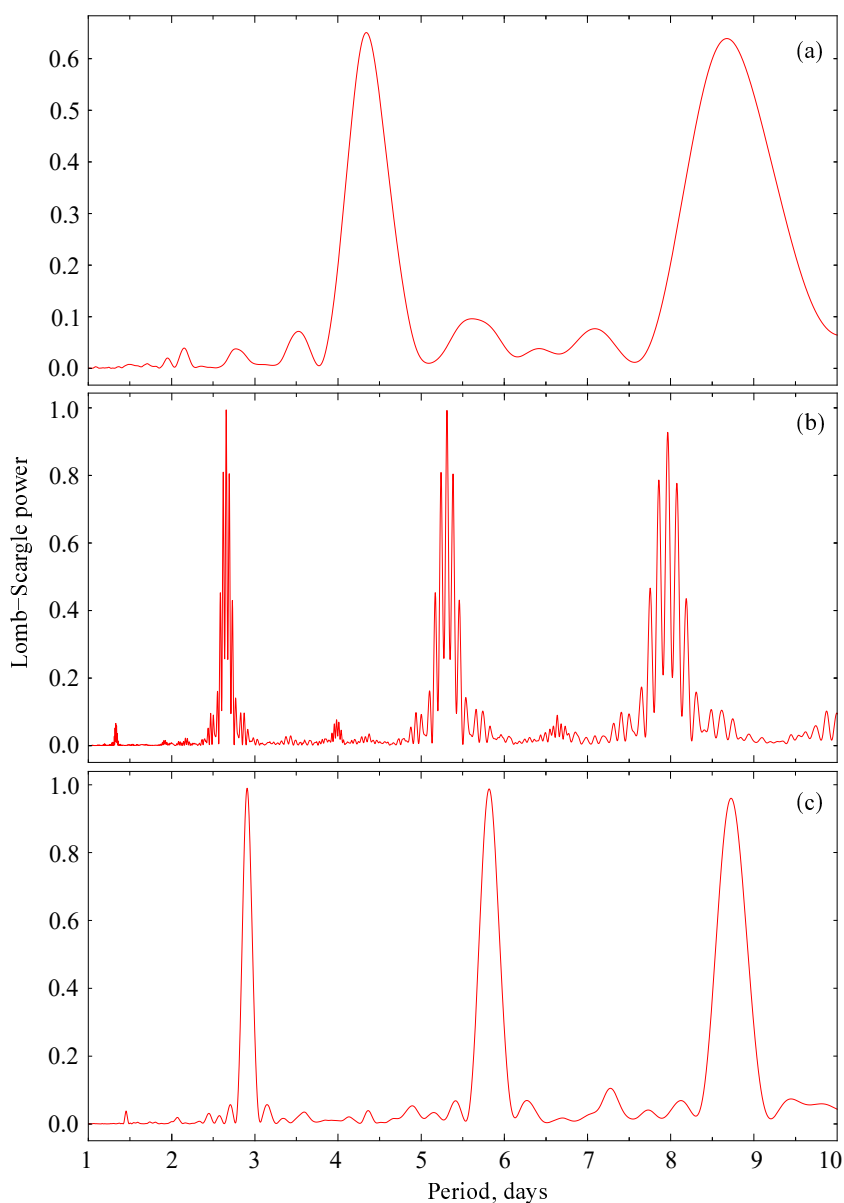


Рис. 1. Периодограммы для HD 13404 (a), HD 225114 (b), BD +64° 352 (c).

2.2. Методы

Мы применяем два основных метода измерений магнитных полей звезд: классический метод измерений сдвигов между ортогонально поляризованными компонентами (Babcock, 1958) и метод регрессии, основанный на анализе круговой поляризации спектральных линий (Bagnulo et al., 2002). При анализе магнитных полей холодных звезд предпочтительнее использовать первый метод, но в случае горячих звезд с малым количеством линий в спектрах более эффективен второй. Детали получения и обработки спектрального материала на ОЗСП и измерения магнитного поля описаны в Semenکو et al. (2022). Дополнительно мы провели измерения продольного магнитного поля в ядре и

крыльях водородной линии $H\beta$, используя нашу адаптацию алгоритма, первоначально предложенного Angel and Landstreet (1970) для фотоэлектрических измерений магнитного поля в крыльях водородных линий.

В данной работе для определения периода вращения исследуемых CP-звезд применялись фотометрические кривые, полученные космическим телескопом TESS² (Ricker et al., 2015), взятые из архива MAST³ с использованием пакета *lightcurve* (Cardoso et al., 2018). Кривые блеска TESS содержат временные ряды измерений и значения

²Transiting Exoplanet Survey Satellite

³Mikulski Archive for Space Telescopes

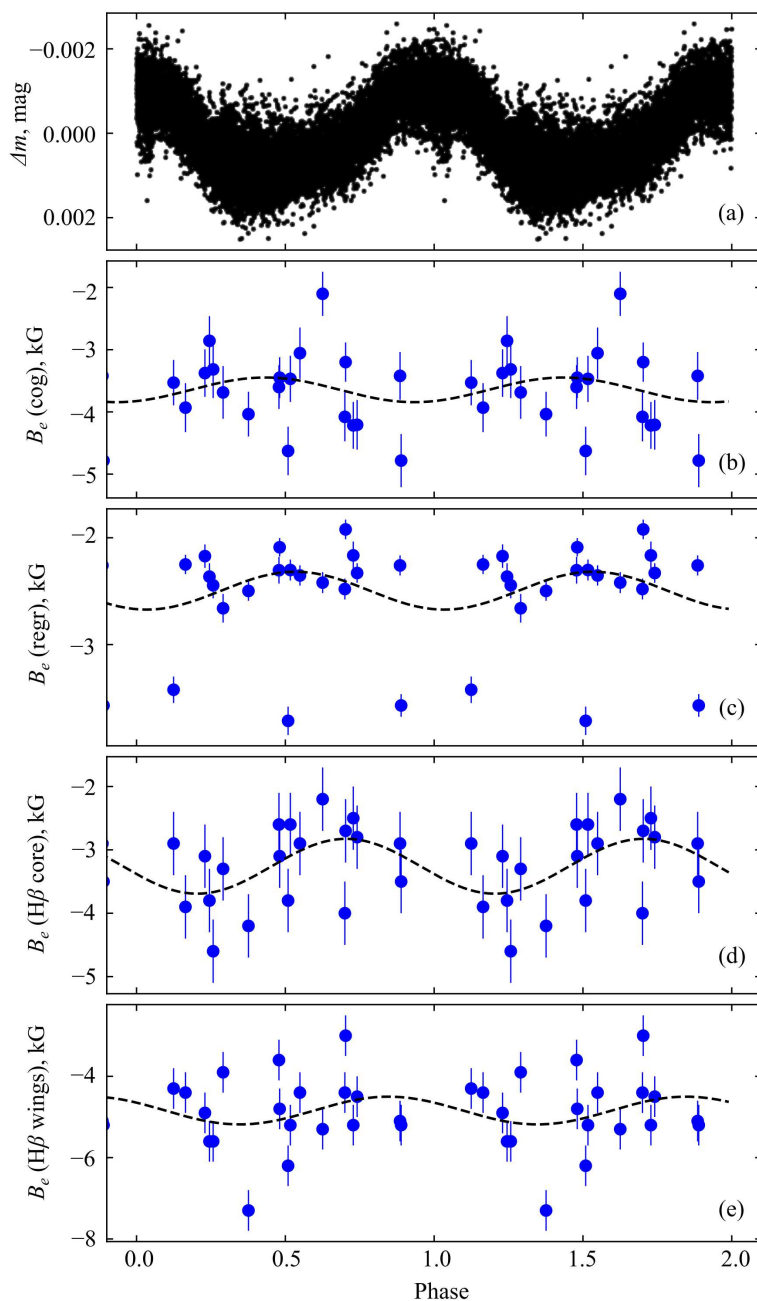


Рис. 2. Фазовые кривые звезды HD 13404 по данным фотометрии TESS (a), магнитных измерений методом центра тяжести B_e (cog) (b), регрессии B_e (regr) (c), по ядру (d) и по крыльям (e) линии H β . Черная пунктирная линия — результат аппроксимации простой синусоидой.

апертурной фотометрии. Периодические изменения фотометрии объектов анализировались методом Ломба—Скаргла (Lomb, 1976; Scargle, 1982). Обзорный телескоп TESS был запущен в 2018 году, наблюдает в секторах неба $96^\circ \times 24^\circ$ и уже повторно провел обзор 85% неба. Ниже для каждой звезды описано, какие сектора мы использовали для построения периодограмм (см. рис. 1) и определения периодов.

2.3. HD 13404

Для анализа фотометрической переменности были взяты кривые TESS 2019 г. и 2022 г. (сектора 18 и 58) (рис. 1a). При отдельном анализе данных двух эпох мы получили разные значения периодов: $4^d.377$ (2019 г.) и $4^d.341$ (2022 г.), что может свидетельствовать об уменьшении периода вращения звезды. Поэтому для фазирования полученных магнитных измерений мы использовали

Таблица 2. Измерения магнитного поля HD 13404. В колонках таблицы приведены: (1) — значения барицентрической юлианской даты; (2) — отношения сигнал/шум спектров; (3) — значения фазы вращения; (4)–(7) — измерения магнитного поля по зеемановским сдвигам, регрессии, по ядру и крыльям линии $H\beta$ соответственно

BJD – 2400000	S/N	Phase	$B_e(\text{cog}) \pm \sigma, \text{ G}$	$B_e(\text{regr}) \pm \sigma, \text{ G}$	$B_e(H\beta \text{ core}) \pm \sigma, \text{ G}$	$B_e(H\beta \text{ wings}) \pm \sigma, \text{ G}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
60513.514	150	0.29	-3687 ± 424	-2660 ± 134	-3300 ± 500	-3900 ± 500
60514.462	100	0.51	-4628 ± 390	-3714 ± 133	-3800 ± 500	-6200 ± 500
60520.452	120	0.89	-4783 ± 427	-3570 ± 106	-3500 ± 500	-5200 ± 500
60521.474	140	0.12	-3530 ± 364	-3423 ± 124	-2900 ± 500	-4300 ± 500
60565.461	70	0.26	-3317 ± 461	-2445 ± 122	-4600 ± 500	-5600 ± 500
60566.431	130	0.48	-3450 ± 328	-2089 ± 86	-3100 ± 500	-4800 ± 500
60567.393	130	0.70	-3200 ± 315	-1922 ± 92	-2700 ± 500	-3000 ± 500
60595.444	110	0.16	-3932 ± 394	-2250 ± 90	-3900 ± 500	-4400 ± 500
60596.363	90	0.38	-4036 ± 359	-2498 ± 92	-4200 ± 500	-7300 ± 500
60627.195	110	0.48	-3601 ± 352	-2304 ± 125	-2600 ± 500	-3600 ± 500
60628.279	120	0.73	-4217 ± 377	-2165 ± 129	-2500 ± 500	-5200 ± 500
60632.173	130	0.63	-2102 ± 355	-2420 ± 98	-2200 ± 500	-5300 ± 500
60652.161	150	0.23	-3376 ± 382	-2172 ± 110	-3100 ± 500	-4900 ± 500
60653.407	120	0.52	-3469 ± 371	-2302 ± 98	-2600 ± 500	-5200 ± 500
60654.381	130	0.74	-4208 ± 399	-2330 ± 91	-2800 ± 500	-4500 ± 500
60659.348	120	0.89	-3421 ± 384	-2259 ± 94	-2900 ± 500	-5100 ± 500
60714.321	90	0.55	-3056 ± 412	-2353 ± 95	-2900 ± 500	-4400 ± 500
60717.342	100	0.25	-2858 ± 396	-2364 ± 125	-3800 ± 500	-5600 ± 500
60719.317	110	0.70	-4080 ± 393	-2480 ± 98	-4000 ± 500	-4400 ± 500

ближайший к ним по эпохе период (2022 г.):

$$\text{BJD} = 2459887^{\text{d}}.148 + 4^{\text{d}}.341E.$$

Кривая блеска демонстрирует малую переменность яркости, ее максимальное падение составляет $0^{\text{m}}.005$. Фазовые кривые для этой звезды приведены на рис. 2. За период 2024–2025 гг. мы получили 19 измерений магнитного поля, равномерно распределенных по фазе вращения звезды (см. таблицу 2). Сфазированное с фотометрическим периодом магнитное поле не показывает вращательной модуляции. Слабая модуляция как фотометрии, так и магнитного поля, постоянство знака поля и узкие спектральные профили линий могут указывать на конфигурацию, при которой ось вращения звезды практически сонаправлена по лучу зрения.

2.4. HD 225114

В 2023–2024 гг. было получено 20 измерений продольного магнитного поля (см. таблицу 3). Далее проводился анализ трех фотометрических рядов наблюдений TESS в 2024 г. (сектора 78, 85

и 86) (рис. 1b), и получено следующее значение периода:

$$\text{BJD} = 2460631^{\text{d}}.994 + 2^{\text{d}}.653E.$$

На рис. 3 видно, что найденный по данным TESS период согласуется как с фотометрической, так и с магнитной переменностью. Отмечается различие в геометрии магнитного поля, измеренного по профилю $H\beta$ (рис. 2d, e) и по линиям металлов (рис. 2b, c). Наиболее вероятной причиной такого расхождения является неравномерное распределение химических элементов по поверхности звезды: металлы, как правило, концентрируются в химических пятнах, тогда как водород распределен более однородно. Не исключается также более сложная топология магнитного поля с существенным вкладом недипольного компонента. Фазовые кривые по фотометрическим данным (рис. 3a) и по линиям металлов демонстрируют синфазность (рис. 3b, c).

2.5. BD +64° 352

Для определения периода данной звезды были проанализированы фотометрические ряды TESS

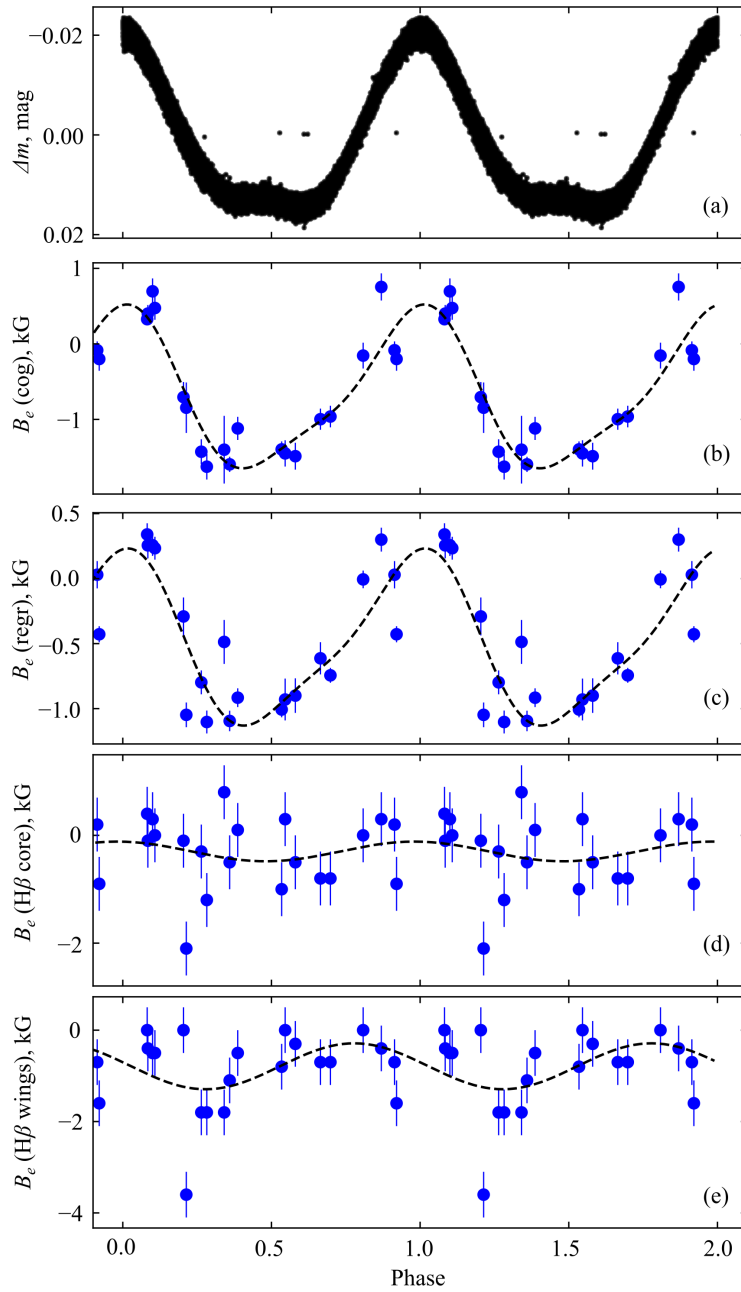


Рис. 3. Фазовые кривые звезды HD 225114 по данным фотометрии TESS (a), магнитных измерений методом центра тяжести B_e (cog) (b), регрессии B_e (regr) (c), по ядру (d) и по крыльям (e) линии H β . Черная пунктирная линия — результат аппроксимации простой (d), (e) и двойной (b), (c) синусоидой.

за 2022 г. (сектора 58 и 59) (рис. 1c). Период фотометрической переменности:

$$\text{BJD} = 2459884.^{\text{d}}512 + 2^{\text{d}}909E.$$

За 2023–2024 гг. нами получено 15 измерений продольного магнитного поля (см. таблицу 4). Как и для звезды HD 225114, здесь мы также наблюдаем (рис. 4) отличие геометрии магнитного поля, но яркость и измерения магнитного поля по разным элементам изменяются несинфазно. Во всех

случаях продольный компонент магнитного поля имеет отрицательную полярность, что отражает преимущественную ориентацию магнитного диполя на видимой поверхности звезды.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате спектрополяризметрического мониторинга трех магнитных CP-звезд — HD 13404, HD 225114 и BD +64° 352 — были впервые построены фазовые кривые продольного магнитного

Таблица 3. Измерения магнитного поля HD 225114. В колонках таблицы приведены те же параметры, что и в таблице 2

BJD – 2400000	<i>S/N</i>	Phase	B_e (cog) $\pm \sigma$, G	B_e (regr) $\pm \sigma$, G	B_e (H β core) $\pm \sigma$, G	B_e (H β wings) $\pm \sigma$, G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
60307.528	170	0.30	-962 ± 143	-744 ± 57	-800 ± 500	-700 ± 500
60311.199	210	0.92	327 ± 61	340 ± 86	400 ± 500	0 ± 500
60366.466	140	0.09	-84 ± 117	30 ± 105	200 ± 500	-700 ± 500
60513.514	190	0.66	-1401 ± 448	-487 ± 169	800 ± 500	-1800 ± 500
60518.482	120	0.79	-845 ± 334	-1048 ± 95	-2100 ± 500	-3600 ± 500
60565.459	130	0.08	-200 ± 156	-428 ± 62	-900 ± 500	-1600 ± 500
60567.433	180	0.34	-997 ± 140	-613 ± 124	-800 ± 500	-700 ± 500
60595.553	150	0.74	-1428 ± 165	-798 ± 92	-300 ± 500	-1800 ± 500
60627.230	150	0.80	-705 ± 200	-291 ± 146	-100 ± 500	0 ± 500
60628.228	140	0.42	-1487 ± 178	-900 ± 133	-500 ± 500	-300 ± 500
60632.218	190	0.08	401 ± 114	256 ± 100	-100 ± 500	-400 ± 500
60653.484	140	0.10	696 ± 171	257 ± 82	300 ± 500	-500 ± 500
60654.172	180	0.36	-1595 ± 101	-1095 ± 79	-500 ± 500	-1100 ± 500
60654.636	210	0.53	-1397 ± 106	-1007 ± 60	-1000 ± 500	-800 ± 500
60659.274	200	0.28	-1626 ± 170	-1103 ± 88	-1200 ± 500	-1800 ± 500
60715.263	160	0.39	-1119 ± 153	-916 ± 72	100 ± 500	-500 ± 500
60716.382	140	0.81	-155 ± 171	-6 ± 68	0 ± 500	0 ± 500
60717.177	140	0.11	475 ± 156	234 ± 88	0 ± 500	-500 ± 500
60718.339	150	0.55	-1450 ± 174	-930 ± 161	300 ± 500	0 ± 500
60719.197	160	0.87	754 ± 180	300 ± 92	300 ± 500	-400 ± 500

Таблица 4. Измерения магнитного поля BD +64° 352. В колонках таблицы приведены те же параметры, что и в таблице 2

BJD – 2400000	<i>S/N</i>	Phase	B_e (cog) $\pm \sigma$, G	B_e (regr) $\pm \sigma$, G	B_e (H β core) $\pm \sigma$, G	B_e (H β wings) $\pm \sigma$, G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
60307.591	110	0.44	-2699 ± 245	-2411 ± 78	-3200 ± 500	-4000 ± 500
60311.253	110	0.70	-3974 ± 288	-2544 ± 99	-2200 ± 500	-2800 ± 500
60369.375	130	0.68	-3206 ± 610	-1487 ± 16	-1800 ± 500	-3000 ± 500
60567.548	100	0.80	-4938 ± 72	-2488 ± 232	-1600 ± 500	-4200 ± 500
60626.548	110	0.08	-5543 ± 517	-2778 ± 109	-5300 ± 500	-4300 ± 500
60627.280	110	0.33	-2918 ± 304	-1973 ± 178	-2200 ± 500	-1700 ± 500
60632.288	120	0.06	-4128 ± 368	-2600 ± 173	-3600 ± 500	-2500 ± 500
60653.538	110	0.36	-2868 ± 327	-2370 ± 196	-3900 ± 500	-4300 ± 500
60654.221	120	0.60	-5350 ± 410	-3023 ± 129	-4300 ± 500	-4400 ± 500
60659.433	110	0.39	-2021 ± 313	-1800 ± 118	-2200 ± 500	-2500 ± 500
60715.210	130	0.56	-5726 ± 326	-2866 ± 125	-4300 ± 500	-5600 ± 500
60716.321	130	0.94	-4592 ± 325	-2870 ± 126	-3600 ± 500	-3800 ± 500
60717.215	90	0.25	-3282 ± 629	-1777 ± 135	-2700 ± 500	-2700 ± 500
60718.380	90	0.65	-5054 ± 450	-1877 ± 132	-3000 ± 500	-3000 ± 500
60719.258	140	0.95	-4959 ± 306	-2860 ± 109	-3300 ± 500	-3300 ± 500

поля и уточнены периоды вращения на основе фотометрии TESS.

Анализ полученных данных выявил различия в характере магнитной переменности исследуемых

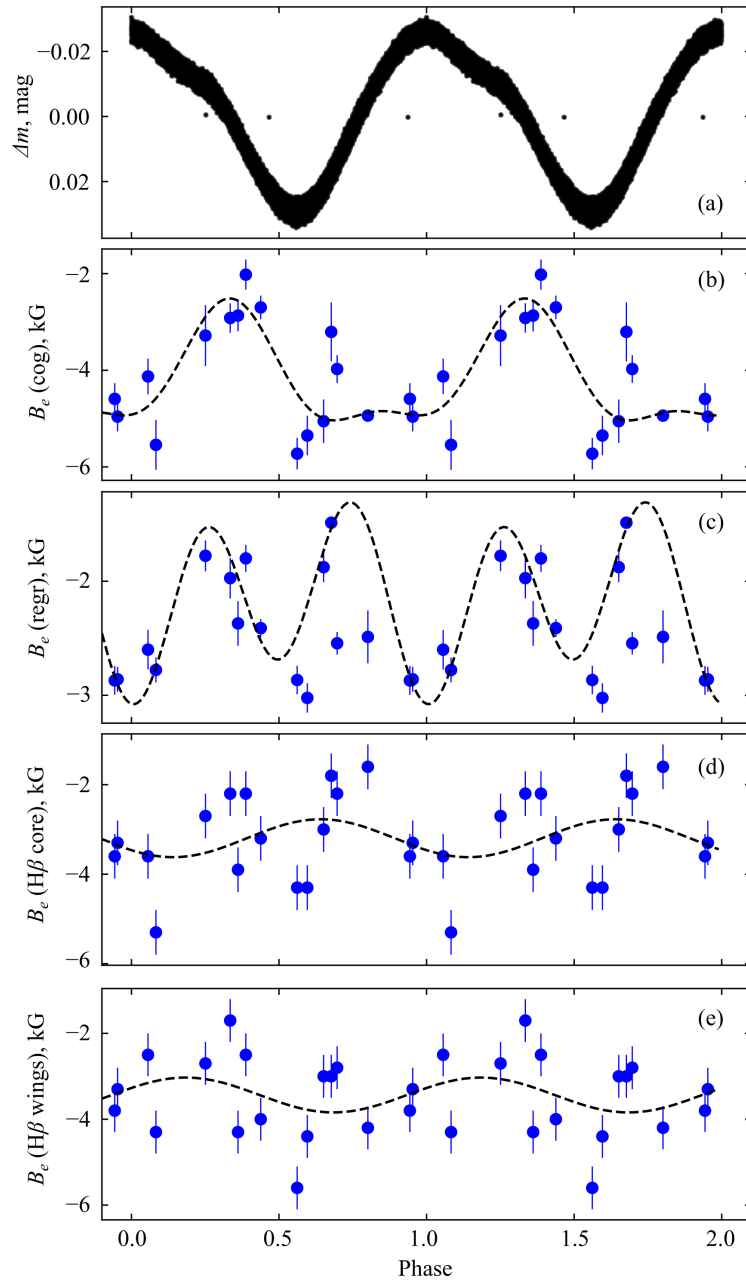


Рис. 4. Фазовые кривые звезды BD +64° 352 по данным фотометрии TESS (a), магнитных измерений методом центра тяжести B_e (cog) (b), регрессии B_e (regr) (c), по ядру (d) и по крыльям (e) линии H β . Черная пунктирная линия — результат аппроксимации простой (d), (c) и двойной (b), (c) синусоидой.

звезд. HD 13404 демонстрирует слабую переменность как магнитного поля, так и фотометрии, а также постоянство знака поля, что, скорее всего, указывает на геометрический эффект, при котором мы наблюдаем преимущественно один полюс магнитного диполя. У звезд HD 225114 и BD +64° 352 выявлены различия в геометрии магнитного поля по измерениям линий металлов и профиля линии H β . Эти расхождения, в сочетании с отмеченной синфазностью магнитной и фотометрической переменностями, свидетельствуют о тесной связи маг-

нитной структуры с неоднородным распределением химических элементов по поверхности и указывают на наличие более сложной топологии магнитного поля с существенным вкладом недипольного компонента.

Полученные данные представляют собой надежную основу для последующего детального моделирования. В перспективе планируется выполнить анализ физических параметров исследованных звезд с применением специализированных методов моделирования, учитывающих влияние маг-

нитного поля на процессы переноса излучения, а также провести прямое восстановление топологии магнитных полей. Реализация этих задач позволит установить взаимосвязь между структурой магнитного поля, особенностями химического состава и физическими параметрами магнитных CP-звезд.

БЛАГОДАРНОСТИ

Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта «Наука и университеты». Авторы выражают благодарность Е. А. Семенко за содействие в обработке данных и обсуждении результатов. Авторы благодарят Национальный комитет по тематике российских телескопов (НКТРТ — <https://www.sao.ru/hq/Komitet/>) за выделение наблюдательного времени. В настоящей работе использовались сведения из астрономических баз SIMBAD и VizieR. В этой работе использованы данные, полученные с помощью миссии TESS, извлеченные из MAST при Space Telescope Science Institute (STScI). Финансирование миссии TESS осуществляется в рамках NASA Explorer Program. STScI управляется Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. (AURA) по контракту NASA NAS 5-26555.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа по обработке наблюдательных данных и моделированию звездных спектров выполнялась в рамках гранта Российского научного фонда (грант РНФ №25-12-00003).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. R. P. Angel and J. D. Landstreet, *Astrophys. J.* **160**, L147 (1970). DOI:10.1086/180548
2. H. W. Babcock, *Astrophys. J.* **105**, 105 (1947). DOI:10.1086/144887
3. H. W. Babcock, *Astrophys. J. Suppl.* **3**, 141 (1958). DOI:10.1086/190035
4. S. Bagnulo, T. Szeifert, G. A. Wade, et al., *Astron. and Astrophys.* **389**, 191 (2002). DOI:10.1051/0004-6361/20020606
5. A. G. A. Brown et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **649**, id. A1 (2021). DOI:10.1051/0004-6361/202039657
6. J. V. M. Cardoso et al. (Lightkurve Collab.), *Astrophysics Source Code Library*, record ascl:1812.013 (2018).

7. S. D. Chojnowski, S. Hubrig, S. Hasselquist, et al., *Astrophys. J.* **873** (1), article id. L5 (2019). DOI:10.3847/2041-8213/ab0750
8. G. A. Chountonov, *Astrophysical Bulletin* **71** (4), 489 (2016). DOI:10.1134/S199034131604012X
9. X.-Q. Cui, Y.-H. Zhao, Y.-Q. Chu, et al., *Research in Astronomy and Astrophysics* **12** (9), 1197 (2012). DOI:10.1088/1674-4527/12/9/003
10. A. David-Uraz, M. E. Shultz, V. Petit, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **504** (4), 4841 (2021). DOI:10.1093/mnras/stab899
11. E. Høg, C. Fabricius, V. V. Makarov, et al., *Astron. and Astrophys.* **355**, L27 (2000).
12. D. O. Kudryavtsev, in *Proc. Intern. Meeting on Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars, Nizhnij Arkhyz, Spec. Astrophys. Obs. RAS, Russia, 1999*, Ed. by Y. V. Glagolevskij and I. I. Romanyuk (Spec. Astrophys. Obs., Nizhnij Arkhyz, 2000), pp. 84–88.
13. N. R. Lomb, *Astrophys. and Space Sci.* **39** (2), 447 (1976). DOI:10.1007/BF00648343
14. S. R. Majewski, R. P. Schiavon, P. M. Frinchaboy, et al., *Astron. J.* **154** (3), article id. 94 (2017). DOI:10.3847/1538-3881/aa784d
15. G. Michaud, G. Alecian, and J. Richer, *Atomic Diffusion in Stars* (Springer International Publishing, Switzerland, 2015). DOI:10.1007/978-3-319-19854-5
16. D. Moss, *ASP Conf. Ser.*, **248**, 305 (2001).
17. V. E. Panchuk, G. A. Chuntunov, and I. D. Naidenov, *Astrophysical Bulletin* **69** (3), 339 (2014). DOI:10.1134/S1990341314030109
18. G. W. Preston, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **12**, 257 (1974). DOI:10.1146/annurev.aa.12.090174.001353
19. P. Renson and J. Manfroid, *Astron. and Astrophys.* **498** (3), 961 (2009). DOI:10.1051/0004-6361/200810788
20. G. R. Ricker, J. N. Winn, R. Vanderspek, et al., *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems* **1**, id. 014003 (2015). DOI:10.1117/1.JATIS.1.1.014003
21. I. Romanyuk, *Universe* **7** (12), id. 465 (2021). DOI:10.3390/universe7120465
22. I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, E. P. Korchagina, et al., *Azerbaijani Astronomical Journal* (in press) (2025).
23. J. D. Scargle, *Astrophys. J.* **263**, 835 (1982). DOI:10.1086/160554
24. E. Semenko, I. Romanyuk, I. Yakunin, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **515** (1), 998 (2022). DOI:10.1093/mnras/stac1864
25. K. Thomson-Paressant, C. Neiner, and J. Labadie-Bartz, *Astron. and Astrophys.* **689**, id. A208 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202450651
26. I. A. Yakunin, E. A. Semenko, I. I. Romanyuk, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (2), 141 (2023). DOI:10.1134/S1990341323020128

Magnetic Field of Chemically Peculiar Stars from SDSS/APOGEE Infrared Survey. I. HD 13404, HD 225114, and BD +64° 325

I. I. Romanyuk¹, I. A. Yakunin¹, E. P. Korchagina¹, A. V. Moiseeva¹, and V. N. Aitov¹

¹Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

The paper presents spectropolarimetric monitoring of three chemically peculiar stars, HD 13404, HD 225114, and BD +64° 325, whose peculiarity has been discovered during the SDSS/APOGEE IR survey. Observations were carried out with the 6-m BTA telescope equipped with a circular polarization analyzer. For the first time, the longitudinal magnetic field phase curves were constructed for these stars, and their rotational periods were refined using the TESS photometry. Significant differences in the nature of their magnetic variability were discovered: HD 13404 shows a weak modulation, probably due to the observation geometry, while HD 225114 and BD +64° 325 were revealed to have a complex magnetic field topology associated with the non-uniform surface chemical distributions.

Keywords: *stars: magnetic field—stars: chemically peculiar*