

УДК 524.45:524.35–337:524.3–126

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД В СКОПЛЕНИЯХ TRUMPLER 37, NGC 2281 И MELOTTE 111

© 2025 И. И. Романюк^{1*}, А. В. Моисеева¹, Е. П. Корчагина¹, И. А. Якунин¹, В. Н. Аитов¹¹ Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 17 июня 2025 года; после доработки 27 июня 2025 года; принята к публикации 8 июля 2025 года

Мы продолжаем поиск и анализ магнитного поля химически пекулярных звезд в рассеянных скоплениях разного возраста. В работе представлены результаты анализа звездных скоплений Trumpler 37, NGC 2281 и Melotte 111. Наблюдательные данные были получены на Основном звездном спектрографе, установленном на 6-м телескопе в САО РАН. В скоплении Trumpler 37 не найдено CP-звезд: все шесть кандидатов оказались немагнитными звездами с сильными эмиссионными линиями в спектрах. В NGC 2281 мы провели наблюдения только двух звезд: HD 49040 и HD 49363. В скоплении Melotte 111 было обнаружено несколько магнитных звезд со слабым полем. В результате мы не нашли звезд с сильным (более 1 кГс) продольным магнитным полем ни в одном из исследуемых скоплений.

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

1. ВВЕДЕНИЕ

Мы продолжаем изучать магнитные химически пекулярные (CP) звезды в скоплениях разного возраста. Это уникальные объекты главной последовательности (ГП), которые обладают сильным крупномасштабным магнитным полем. Конфигурация поля у них остается стабильной по крайней мере на протяжении десятилетий. Происхождение и эволюция магнитных полей исследуемых объектов остаются предметом научных дискуссий. Однако все больше наблюдений подтверждают реликтовую природу их происхождения (см., например, Semenko et al., 2022).

В Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН) уже около 40 лет на 6-м телескопе ведутся исследования магнитного поля звезд. Для изучения эволюции магнитного поля у CP-звезд проводится их поиск и исследования в скоплениях разного возраста. Наш анализ мы начали с самой многочисленной по количеству CP-звезд молодой ассоциации Орион OB1 (Semenko et al., 2022). В ней было обнаружено 14 CP-звезд со средней величиной магнитного поля более 1 кГс. В дальнейшем мы проанализировали скопление Плеяды и кинематическую группу Плеяд (Romanjuk et al., 2023b), скопления α Per, NGC 7092 и IC 4756 (Romanjuk et al., 2023a), однако не обнаружили звезд с магнитным

полем более 1 кГс и выявили резкое падение величины магнитного поля и доли магнитных CP-звезд относительно химически пекулярных (Romanjuk et al., 2024b).

В работе Romanjuk et al. (2024b) было указано, что для надежных, статистически достоверных выводов наблюдательных данных пока недостаточно. В настоящей работе мы продолжаем исследование CP-звезд, анализируя их наличие и свойства в трех рассеянных скоплениях: Trumpler 37, NGC 2281 и Melotte 111. Некоторые общие сведения и численность CP-звезд, полученные из базы WEBDA (Mermilliod and Paunzen, 2003; Paunzen, 2008), представлены в таблице 1.

В результате мы провели спектрополяриметрические наблюдения 16 CP-звезд и проанализировали полученные результаты.

2. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Отнесение звезды к классу магнитных во многом зависит от точности определения магнитного поля и его структуры. Поле должно быть глобальным и оставаться стабильным в течение длительного времени. Встречаемость магнитных CP-звезд в скоплениях различна. В большинстве случаев изучаются лишь несколько объектов из скопления с известным магнитным полем, что делает полученные выводы менее достоверными с точки зрения статистики.

*E-mail: roman@sao.ru

Таблица 1. Сводные данные по рассеянным скоплениям из базы данных WEBDA

Скопление	RA (J2000)	Dec (J2000)	lg t	d , пк	$ m_V - M_V $, mag	N_{CP}
Trumpler 37	21 ^h 39 ^m 06 ^s	+57°30'00''	7.054	835	11.07	6
NGC 2281	06 ^h 48 ^m 17 ^s	+41°04'42''	8.554	558	8.93	2
Melotte 111	12 ^h 25 ^m 06 ^s	+26°06'00''	8.652	96	4.95	8

Для настоящего исследования наблюдательные данные были получены на Основном звездном спектрографе (ОЗСП)¹ (Panchuk et al., 2014) с использованием анализатора круговой поляризации (Chountopov, 2016). Наблюдения продолжаются более 10 лет при практически постоянной конфигурации прибора. Описания методики публиковались нами неоднократно (например, Semenko et al., 2022). Обработка спектральных данных выполняется все это время по стандартному алгоритму с использованием контекста ZEEMAN (Kudryavtsev, 2000) системы ESO-MIDAS.

Для контроля поляризационной и регистрационной аппаратуры мы каждую наблюдательную ночь снимаем стандарты магнитного поля (хорошо изученные CP-звезды с надежно определенными кривыми переменности продольного магнитного поля, например: 53 Cam, α^2 CVn, β CrB) и стандарты нуля магнитного поля (звезды поздних спектральных классов, например: β Gem, σ UMa). Согласно нашим исследованиям, система магнитных измерений CAO РАН стабильна и соответствует международной (например, Romanyuk et al., 2024a). Ложное инструментальное магнитное поле B_e не превышает 100 Гс.

Для каждой звезды выборки по спектрам ОЗСП мы провели оценку физических параметров (эффективной температуры T_{eff} , ускорения силы тяжести $\lg g$, проекции скорости вращения $v_e \sin i$ и лучевой скорости V_r) при помощи программы расчета синтетических спектров SME (Piskunov and Valenti, 2017). Для построения теоретического спектра была использована сетка моделей LLmodels (Shulyak et al., 2004), а атомные параметры линий были получены из базы данных VALD3 (Ryabchikova et al., 2015).

3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗВЕЗД

Romanyuk et al. (2024b) подробно изложили разные методы определения величины магнитного поля. Подчеркнем, что речь идет об измерении продольного компонента магнитного поля B_e . Как и в предыдущих работах, были использованы два метода определения этой величины:

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

- 1) классический модифицированный метод (Babcock, 1958);
- 2) метод регрессии (Bagnulo et al., 2002).

В задачи нашего исследования не входило определение периода вращения звезд выборки, поэтому для оценки параметров поля мы воспользовались величинами среднеквадратического магнитного поля B_{rms} , его ошибки σ_{rms} и критерия χ^2/n (Bohlender et al., 1993):

$$B_{\text{rms}} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_{ei}^2 \right)^{1/2}, \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{rms}} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \right)^{1/2}, \quad (2)$$

$$\chi^2/n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{B_{ei}}{\sigma_i} \right)^2. \quad (3)$$

Звезда считалась магнитной при значениях критерия $\chi^2/n \geq 5$ (см. Romanyuk et al., 2024b). Такое значение параметра дает нам возможность уверенно идентифицировать магнитные звезды и предотвращает ошибочные открытия.

3.1. Магнитное поле звезд в скоплениях

В настоящей работе мы изучаем магнитное поле звезд в трех рассеянных скоплениях: Trumpler 37, NGC 2281 и Melotte 111.

В таблице 2 представлены некоторые основные сведения об исследуемых объектах. В ее колонках приведены: название звезды в каталогах HD и BD, звездная величина V , параллакс π , спектральный класс и тип пекулярности из Renson and Manfroid (2009) или базы SIMBAD.

Результаты измерений магнитного поля звезд выборки представлены в таблице 3. В ее колонках приведены: сведения о названии звезды в каталоге HD и BD, гелиоцентрическая юлианская дата наблюдений HJD, отношение сигнал/шум спектров и величины продольного магнитного поля, которые получены модифицированным методом

Таблица 2. Основные параметры исследуемых звезд в скоплениях

Звезда	π , mas	V , mag	Sp pec
NGC 2281			
HD 49040	1.85	8.8	B9 SrCrEu
HD 49363	1.96	8.8	A1.5IV
Melotte 111			
HD 105805	11.58	6.0	A5V
HD 107966	11.13	5.2	A3V
HD 108283	11.28	5.0	A9 Sr
HD 108382	11.94	5.0	A4V
HD 108449	6.17	8.3	A5
HD 108662	13.00	5.2	A0 SrCrEu
HD 108945	12.08	5.4	A3 SrCr
HD 109030	4.75	7.9	A0 Sr
Trumpler 37			
HD 239712	1.40	8.5	B2Vnpe
HD 239746	0.85	10.0	B8
HD 239758	0.80	9.4	B2III:nn
HD 239767	0.52	9.3	B0.5V
BD +57° 2376	0.86	9.8	B5
BD +57° 2358	1.13	10.2	B5

Бэбкока (метод центра тяжести B_{cog}) и методом регрессии B_{reg} .

Во многих случаях для звезд с малым количеством линий, которые сильно уширены вращением, измерения классическим методом Бэбкока дали значения магнитного поля с большой ошибкой, что наглядно продемонстрировано в таблице 3. Для сравнения данных мы будем использовать результаты, полученные по методу регрессии (по аналогии с тем, как делали в прежних работах: см., например, Semenکو et al., 2022). Для некоторых звезд ранее (нами или другими исследователями) уже проведены наблюдения и опубликованы результаты анализа магнитного поля или физических параметров. В этом случае мы ограничиваемся комментариями и литературными ссылками.

4. КОММЕНТАРИИ К ОТДЕЛЬНЫМ ЗВЕЗДАМ

4.1. Скопление NGC 2281

Согласно базе WEBDA, в скоплении находятся две химически пекулярные звезды: HD 49040 и HD 49363.

HD 49040. Принадлежность звезды к скоплению NGC 2281 подтвердили Cantat-Gaudin et al. (2018) и Qin et al. (2023).

Впервые магнитное поле HD 49040 измерили Kudryavtsev et al. (2006): $B_{\text{rms}} = 160 \pm 100$ Гс, $\chi^2/n = 2.34$. В период 2023–2024 гг. мы получили еще четыре спектра звезды, с учетом которых оба метода показывают, что HD 49040 имеет слабое магнитное поле: $B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 210 \pm 90$ Гс, $\chi^2/n = 14.8$; $B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 230 \pm 60$ Гс, $\chi^2/n = 40.1$.

Мы определили физические параметры звезды: $T_{\text{eff}} = 8250$ К, $\lg g = 3.5$, $v_e \sin i \approx 30$ км с⁻¹. Они, с учетом ошибок, совпадают с результатами Gębowski and Gnasiński (2005); McDonald et al. (2017).

По спектрам LAMOST лучевая скорость HD 49040 меняется от $V_r = 5.29 \pm 0.69$ км с⁻¹ до 23.76 ± 0.65 км с⁻¹ (Qian et al., 2019). Наши значения попадают в указанный диапазон.

HD 49363. Принадлежность звезды к скоплению подтвердили Cantat-Gaudin et al. (2018).

Мы впервые измерили магнитное поле этой звезды, и, скорее всего, оно отсутствует:

$$B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 450 \pm 300 \text{ Гс}, \chi^2/n = 2.9;$$

$$B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 95 \pm 100 \text{ Гс}, \chi^2/n = 1.2.$$

Физические параметры HD 49363 следующие: $T_{\text{eff}} = 9650$ К, $\lg g = 3.7$, $v_e \sin i \approx 40$ км с⁻¹. По нашим измерениям и литературным данным (Qin et al., 2023; Kos, 2024), лучевая скорость звезды стабильная: $\langle V_r \rangle = 19.5 \pm 2.8$ км с⁻¹.

4.2. Скопление Melotte 111 = Coma Berenices

В данном скоплении находится основная часть СР-звезд из нашей выборки. Ниже представлены результаты их анализа.

HD 105805. Звезда является членом скопления Melotte 111 (Kharchenko et al., 2004; Spina et al., 2021).

В настоящей работе мы впервые измерили магнитное поле звезды и показали, что у HD 105805 оно не обнаружено: $B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 4025 \pm 3340$ Гс, $\chi^2/n = 1.3$; $B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 290 \pm 290$ Гс, $\chi^2/n = 1.2$.

Полученные нами значения физических параметров звезды ($T_{\text{eff}} = 7900$ К, $\lg g = 4.1$, $v_e \sin i \approx 235$ км с⁻¹), с учетом ошибок, совпадают с результатами Soubiran et al. (2016); Zhang et al. (2023).

По нашим и литературным данным, значение лучевой скорости звезды меняется от $V_r = -20.51 \pm 0.22$ км с⁻¹ (Zhang et al., 2023) до 7.3 ± 2.3 км с⁻¹ (см. таблицу 3).

Таблица 3. Результаты измерения магнитного поля звезд в скоплениях Trumpler 37, NGC 2281, Melotte 111

Звезда	HJD, −2400000	<i>S/N</i>	<i>B</i> _{cog} ± <i>σ</i> , Гс	<i>B</i> _{reg} ± <i>σ</i> , Гс	<i>V_r</i> ± <i>σ</i> , км с ^{−1}	Звезда	HJD, −2400000	<i>S/N</i>	<i>B</i> _{cog} ± <i>σ</i> , Гс	<i>B</i> _{reg} ± <i>σ</i> , Гс	<i>V_r</i> ± <i>σ</i> , км с ^{−1}
HD 49040	53096.347	170	150 ± 100	—	—	HD 105805	60366.559	290	7500 ± 5600	−239 ± 210	2.9 ± 1.8
	53097.314	180	200 ± 100	—	—		60369.466	300	4400 ± 2600	−20 ± 154	4.5 ± 3.6
	53273.458	180	180 ± 120	—	—		60370.545	375	2600 ± 2700	−378 ± 269	−12.1 ± 3.9
	53274.475	200	210 ± 100	—	—		60388.354	230	2600 ± 2100	−133 ± 616	−5.2 ± 2.9
	53310.444	180	140 ± 80	—	—		60390.403	240	600 ± 1700	−23 ± 160	7.3 ± 2.3
	53363.621	120	100 ± 100	—	—		60422.470	240	1700 ± 1700	101 ± 157	6.5 ± 2.3
	53364.587	200	70 ± 100	—	—	HD 107966	60074.345	220	360 ± 151	−81 ± 95	2.7 ± 2.5
	54015.585	200	160 ± 60	—	—		60187.190	200	76 ± 170	−106 ± 67	3.7 ± 3.8
	55281.427	100	285 ± 50	270 ± 40	20.6 ± 2.8		60307.650	440	117 ± 103	4 ± 78	0.9 ± 3.5
	60307.341	180	199 ± 30	157 ± 35	20.9 ± 2.3		60366.570	440	−352 ± 362	76 ± 133	6.5 ± 2.8
HD 49363	60367.426	165	−19 ± 73	−40 ± 90	27.5 ± 3.5		60369.476	460	−718 ± 566	−345 ± 97	8.5 ± 3.9
	60369.441	150	324 ± 107	124 ± 73	27.9 ± 2.1		60370.562	600	828 ± 543	140 ± 222	−1.2 ± 2.8
	60388.420	165	420 ± 42	410 ± 35	22.7 ± 2.1		60388.363	370	−207 ± 183	−292 ± 135	−9.1 ± 3.7
	60566.513	150	417 ± 327	87 ± 108	20.1 ± 2.9		60390.411	290	−169 ± 193	−82 ± 114	3.4 ± 2.5
	60567.465	195	430 ± 338	−132 ± 77	18.8 ± 2.3	HD 108283	53096.402	490	270 ± 190	—	—
	60568.516	260	−497 ± 210	30 ± 110	19.6 ± 3.3		53097.350	450	−80 ± 190	—	—
HD 105805	60074.328	200	−4000 ± 4600	647 ± 289	6.7 ± 1.7		54162.457	600	200 ± 140	—	—
	60307.640	300	−4600 ± 3500	−186 ± 172	1.9 ± 1.5		60074.338	260	217 ± 102	−22 ± 174	2.7 ± 1.9

Таблица 3. (Продолжение)

Звезда	HJD, −2400000	S/N	$B_{\text{cog}} \pm \sigma,$ Гс	$B_{\text{reg}} \pm \sigma,$ Гс	$V_r \pm \sigma,$ км с ^{−1}	Звезда	HJD, −2400000	S/N	$B_{\text{cog}} \pm \sigma,$ Гс	$B_{\text{reg}} \pm \sigma,$ Гс	$V_r \pm \sigma,$ км с ^{−1}
HD 108283	60520.254	310	-323 ± 195	287 ± 495	-7.0 ± 3.8	HD 108662	60366.579	440	-370 ± 82	-340 ± 54	4.3 ± 2.1
HD 108382	60074.413	80	515 ± 226	269 ± 203	2.5 ± 2.0		60369.485	460	-583 ± 64	-570 ± 120	5.1 ± 1.9
	60102.300	200	744 ± 254	-109 ± 104	8.1 ± 2.3		60370.579	620	-304 ± 161	-347 ± 106	10.5 ± 3.3
	60520.260	300	-409 ± 291	-36 ± 246	-5.3 ± 1.7		60388.372	380	419 ± 34	269 ± 32	0.9 ± 3.4
HD 108449	56644.632	240	-175 ± 107	22 ± 43	1.1 ± 3.6		60390.418	300	-505 ± 38	-508 ± 44	3.9 ± 3.6
	56794.353	290	-280 ± 145	-15 ± 55	-8.7 ± 2.1		60422.553	290	-351 ± 41	-297 ± 29	0.7 ± 1.7
	56795.427	290	80 ± 115	90 ± 38	-9.4 ± 3.6	HD 108945	60074.355	200	290 ± 193	145 ± 108	6.5 ± 2.8
	57829.337	90	-67 ± 366	-32 ± 100	-3.9 ± 3.7		60074.371	220	158 ± 215	279 ± 136	8.3 ± 2.4
	57910.309	220	-385 ± 171	-154 ± 84	2.8 ± 3.1		60422.543	240	-411 ± 147	-113 ± 63	4.2 ± 1.9
	58126.578	210	282 ± 189	311 ± 80	-5.2 ± 4.0	HD 109030	54162.445	400	-20 ± 170	90 ± 55	19.7 ± 3.1
	58514.568	120	-260 ± 387	-25 ± 83	1.1 ± 3.8		55702.386	200	-65 ± 225	140 ± 60	12.3 ± 2.9
	58601.341	210	-520 ± 221	114 ± 80	3.9 ± 1.6		55963.594	310	-60 ± 80	150 ± 60	13.7 ± 3.8
	58603.302	230	140 ± 229	-129 ± 103	4.5 ± 2.6		56051.277	320	-250 ± 190	-160 ± 55	16.8 ± 3.7
	58922.470	180	-33 ± 131	24 ± 74	1.1 ± 3.3		56052.363	370	275 ± 192	197 ± 48	17.4 ± 3.2
	60390.443	170	310 ± 168	295 ± 85	-11.8 ± 2.9		57743.661	140	-47 ± 380	-287 ± 106	13.9 ± 3.3
	60422.490	150	-14 ± 173	-29 ± 135	-2.1 ± 1.9		58922.443	190	-138 ± 162	-22 ± 93	19.2 ± 3.1
HD 108662	60074.363	240	-608 ± 43	-420 ± 52	7.0 ± 2.7		60074.396	140	621 ± 250	333 ± 79	13.4 ± 3.2
	60187.196	180	-771 ± 38	-653 ± 37	6.0 ± 2.1		60422.521	190	-183 ± 263	45 ± 123	20.5 ± 3.8

Таблица 3. (Продолжение)

Звезда	HJD, −2400000	<i>S/N</i>	<i>B</i> _{cog} ± <i>σ</i> , Гс	<i>B</i> _{reg} ± <i>σ</i> , Гс	<i>V_r</i> ± <i>σ</i> , км с ^{−1}	Звезда	HJD, −2400000	<i>S/N</i>	<i>B</i> _{cog} ± <i>σ</i> , Гс	<i>B</i> _{reg} ± <i>σ</i> , Гс	<i>V_r</i> ± <i>σ</i> , км с ^{−1}
HD 239712	60102.510	105	−8500 ± 3500	125 ± 148	—	HD 239767	59804.379	125	−2300 ± 1200	−414 ± 188	—
	60151.500	120	−4700 ± 2900	−54 ± 209	—		59894.372	100	−2916 ± 1377	47 ± 156	—
	60153.330	105	3700 ± 2600	30 ± 187	—		59895.346	140	3240 ± 1200	345 ± 205	—
	60248.298	150	−1200 ± 1860	150 ± 240	—		60103.512	125	26 ± 10	−4 ± 94	—
HD 239746	59895.440	140	−2500 ± 3800	−155 ± 178	—		60157.442	170	−53 ± 1500	−58 ± 159	—
	60157.360	150	−2800 ± 2600	8 ± 153	—		60186.431	200	1176 ± 1223	2 ± 243	—
	60184.362	170	500 ± 1440	−174 ± 135	—		60190.503	60	4200 ± 1900	−115 ± 154	—
	60193.360	130	3887 ± 1936	24 ± 190	—		60215.386	160	932 ± 1387	−9 ± 180	—
	60216.303	150	1000 ± 3000	−124 ± 179	—	BD +57° 2358	59721.485	80	−7225 ± 6207	134 ± 141	—
	60248.391	150	2860 ± 2340	525 ± 225	—		60217.528	150	281 ± 1468	−2 ± 164	—
HD 239758	60369.533	140	−983 ± 800	152 ± 188	—		60370.477	110	5300 ± 5300	217 ± 176	—
	59685.538	90	−1040 ± 3280	8 ± 148	—	BD +57° 2376	59661.586	60	−8500 ± 7800	−153 ± 136	—
	60218.284	140	−7154 ± 6315	−22 ± 218	—		59894.414	120	1400 ± 2400	203 ± 198	—
	60367.578	170	−8400 ± 5200	−22 ± 167	—		59895.388	120	1730 ± 1500	101 ± 150	—
HD 239767	59686.291	70	−1857 ± 5920	517 ± 263	—		60216.437	150	−2500 ± 2500	−166 ± 191	—
	59690.518	80	−1081 ± 2152	336 ± 274	—						

HD 107966 = 13 Com. Kharchenko et al. (2004) и Casewell et al. (2006) подтвердили принадлежность звезды к скоплению.

Мы впервые в данной работе измерили магнитное поле HD 107966 и указали на его отсутствие, определив следующие значения:
 $B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 440 \pm 330$ Гс, $\chi^2/n = 1.8$;
 $B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 180 \pm 130$ Гс, $\chi^2/n = 2.7$.

Наши оценки физических параметров ($T_{\text{eff}} = 8200$ К, $\lg g = 3.7$, $v_e \sin i \approx 55$ км с⁻¹), с учетом ошибок, совпадают с результатами Gebran et al. (2016).

Звезда является частью двойной системы WDS 12243+2606 (Mason et al., 2001), ее лучевая скорость меняется от $V_r = -29.1 \pm 8.5$ км с⁻¹ (Mermilliod, 1979) до 27.0 км с⁻¹ (Gebran et al., 2016). Значения, полученные нами, попадают в указанный диапазон лучевых скоростей.

HD 108283 = 14 Com. Первые попытки измерить магнитное поле звезды предпринял Babcock (1958), однако установить его наличие ему не удалось. Мы проводили наблюдения HD 108283 на БТА в 2004 г. (Kudryavtsev et al., 2006) и 2007 г. (Romanyuk et al., 2014). В период 2023–2024 гг. мы получили еще два спектра. В итоге по шести измерениям нам не удалось обнаружить магнитное поле у звезды: $B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 210 \pm 170$ Гс, $\chi^2/n = 1.9$; $B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 200 \pm 370$ Гс, $\chi^2/n = 0.2$.

Согласно исследованиям Dominy and Smith (1977) и Gray et al. (2001), объект относится к типу F-звезд с сильными абсорбционными линиями в спектре оболочки. Фотосферные линии HD 108283 довольно сильно уширены вращением: $v_e \sin i \approx 180$ км с⁻¹. При определении физических параметров звезды мы воспользовались фотометрическими индексами Стремгрена (Raunzen, 2015), так как в данном случае найти их значения при помощи SME достаточно трудно: $T_{\text{eff}} = 7245 \pm 107$ К, $\lg g = 3.2 \pm 0.1$.

В соответствии с литературными оценками лучевая скорость звезды меняется от -12.9 км с⁻¹ до 5.3 км с⁻¹ (Mermilliod, 1979).

HD 108382 = 16 Com. Звезда является членом скопления, согласно результатам Cantat-Gaudin et al. (2020).

В данной работе мы впервые выполнили измерения магнитного поля этой звезды, которые не подтвердили его наличие: $B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 280 \pm 210$ Гс, $\chi^2/n = 2.1$; $B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 45 \pm 100$ Гс, $\chi^2/n = 0.2$.

Наши оценки физических параметров ($T_{\text{eff}} = 8000$ К, $\lg g = 3.6$, $v_e \sin i \approx 80$ км с⁻¹), с учетом ошибок, совпали с результатами Zorec and Royer (2012) и Gebran et al. (2016).

Лучевая скорость звезды меняется в диапазоне от $V_r = -5.2$ км с⁻¹ (Harper, 1920) до 10.0 км с⁻¹ (Gebran et al., 2016). Наши значения попадают в указанные пределы.

HD 108449. Guerrero et al. (2015) не обнаружили доказательств того, что звезда принадлежит скоплению. Возможно, ее членство является эффектом проекции (Kharchenko et al., 2004).

Впервые магнитное поле звезды было измерено по спектрам ОСЗП в 2013 г. (Romanyuk et al., 2022a), а затем мы наблюдали объект в 2014 г. (Romanyuk et al., 2022b). В общей сложности, с учетом этой работы, выполнены 12 измерений, которые не показали наличие магнитного поля у HD 108449: $B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 250 \pm 225$ Гс, $\chi^2/n = 1.6$; $B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 150 \pm 80$ Гс, $\chi^2/n = 4.1$.

Физические параметры HD 108449 нашли Romanyuk et al. (2022b): $T_{\text{eff}} = 7000$ К, $\lg g = 4.0$, $v_e \sin i \approx 60$ км с⁻¹. Авторы отметили двойственность звезды по наличию линий вторичного компонента в профиле линии H β и переменной лучевой скорости. Однако в Gaia DR3 (Vallenari et al., 2023) указано, что звезда принадлежит типу SB1 с орбитальным периодом $P_{\text{orb}} = 324^d$.

HD 108662 = 17 Com A. Звезда является главным компонентом в многокомпонентной системе WDS 12289+2555 (Mason et al., 2001). Магнитное поле 17 Com A впервые нашел Babcock (1958), и с тех пор его неоднократно измеряли (Preston et al., 1969; Preston, 1971; Rustamov and Khotnyanskij, 1980; Shorlin et al., 2002; Sikora et al., 2019; Thomson-Paressant et al., 2024). В период 2023–2024 гг. мы провели восемь измерений магнитного поля (рис. 1), по которым определили следующие значения: $B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 540 \pm 70$ Гс, $\chi^2/n = 170.4$; $B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 470 \pm 40$ Гс, $\chi^2/n = 184.7$.

Физические параметры оценили Romanovskaya et al. (2020): $T_{\text{eff}} = 10\,200$ К, $\lg g = 4.0$, $v_e \sin i \approx 20.4$ км с⁻¹.

Согласно литературным данным, лучевая скорость звезды меняется в диапазоне от -7.0 км с⁻¹ (Perry and Bidelman, 1965) до 18.23 ± 0.82 км с⁻¹ (Zhang et al., 2023). Наши значения лежат в указанном диапазоне.

HD 108945 = 21 Com. Принадлежность звезды к скоплению подтвердили Cantat-Gaudin et al. (2020).

Впервые поиск магнитного поля HD 108945, который не увенчался успехом, предпринял Babcock (1958). Дальнейшие исследования (Shorlin et al., 2002; Hubrig et al., 2006; Aurière et al., 2007; Landstreet et al., 2008; Romanyuk et al., 2014; Bagnulo et al., 2015; Sikora et al., 2019) подтвердили, что звезда обладает слабым магнитным полем,

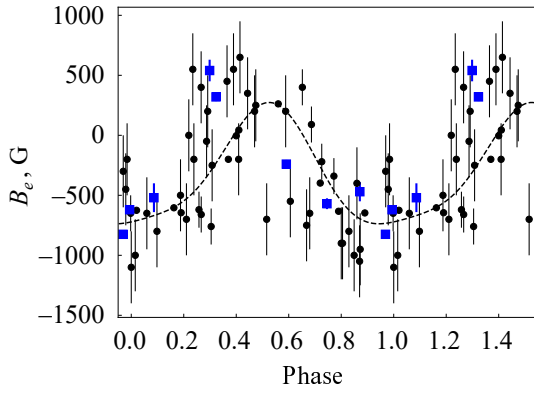


Рис. 1. Фазовая кривая магнитных измерений HD 108662, построенная с использованием эфемериды $JD = 2442214.90968 \pm 5^d.07735(24)E$ (Sikora et al., 2019). Черные кружки — это литературные данные из работ Preston et al. (1969), Rustamov and Khotnyanskij (1980), Shorlin et al. (2002), Sikora et al. (2019); наши измерения обозначены синими квадратами. Черная штриховая линия — результат аппроксимации двойной синусоидой.

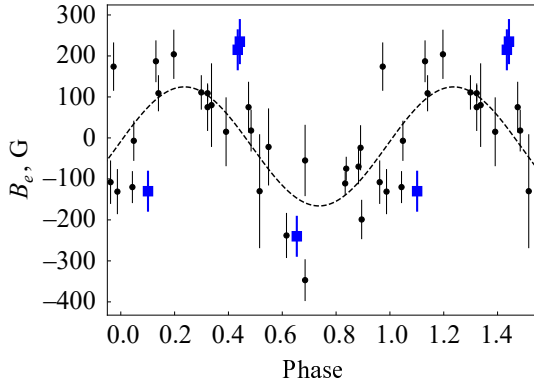


Рис. 2. Фазовая кривая магнитных измерений HD 108945, построенная с использованием эфемериды $JD = 2457852.9936(1) \pm 2^d.05219(2)E$ (Paunzen et al., 2019). Черные кружки — это литературные данные из работ Shorlin et al. (2002), Hubrig et al. (2006), Aurière et al. (2007), Landstreet et al. (2008), Bagnulo et al. (2015), Sikora et al. (2019); наши измерения обозначены синими квадратами. Черная штриховая линия — результат аппроксимации одиночной синусоидой.

которое меняется в диапазоне от примерно -400 Гс до $+300$ Гс (рис. 2).

Физические параметры HD 108945 оценили Paunzen et al. (2019): $T_{\text{eff}} = 8900 \pm 200$ К, $\lg g = 3.9 \pm 0.2$, $v_e \sin i = 63 \pm 2$ км с $^{-1}$. Авторы сделали вывод, что объект является классической CP2-звездой.

По многочисленным литературным данным, лучевая скорость звезды меняется от -4.3 ± 0.5 км с $^{-1}$ (Mermilliod, 1979) до 9.0 км с $^{-1}$ (Gebran et al., 2016). Наши значения, с учетом ошибок, соответствуют этому диапазону. Abt and Willmarth

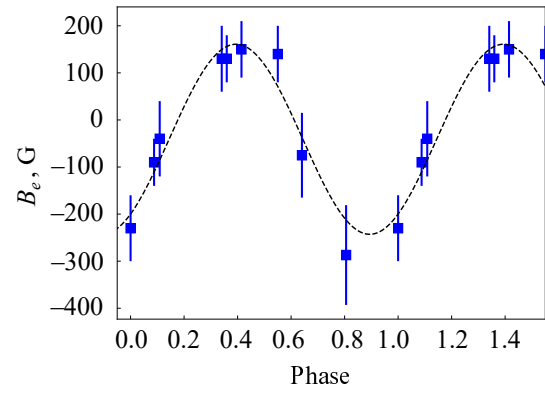


Рис. 3. Фазовая кривая магнитных измерений HD 109030, построенная с периодом $P = 0^d.854$ (Netopil et al., 2017). Черная штриховая линия — результат аппроксимации одиночной синусоидой.

(1999) отнесли звезду к двойным типа SB2 с орбитальным периодом $P_{\text{orb}} = 18^d.813$. Однако Paunzen et al. (2019) подвергли сомнению этот результат из-за недостаточной точности элементов орбиты и нехарактерного для объектов такого типа поведения фазовой кривой лучевой скорости. Авторы заключили, что, скорее всего, звезда не является двойной, а искажения профиля спектральных линий вызваны наличием пятен на поверхности звезды. Tokovinin et al. (2024) по спекл-интерферометрическим наблюдениям не смогли разрешить звезду.

HD 109030. Kharchenko et al. (2004) подвергают сомнению принадлежность звезды к скоплению; возможно, она лишь проецируется на него.

Поиск магнитного поля проводился по спектрам ОЗСП, которые были получены в 2007 г. (Romanyuk et al., 2014), 2011 г. (Romanyuk et al., 2018), 2012 г. (Romanyuk et al., 2020) и в 2016 г. (Romanyuk et al., 2024a). Кроме того, в период 2023–2024 гг. мы получили еще три спектра. Анализ этих данных позволяет предположить, что у звезды имеется слабое магнитное поле ($B_{\text{rms}}(\text{cog}) = 130 \pm 215$ Гс, $\chi^2/n = 0.5$; $B_{\text{rms}}(\text{reg}) = 160 \pm 70$ Гс, $\chi^2/n = 4.9$), которое меняется в пределах от -300 до 200 Гс с периодом $P = 0^d.854$ (Netopil et al., 2017) (см. рис. 3).

Физические параметры звезды оценили Moiseeva et al. (2019): $T_{\text{eff}} = 10\,400$ К, $\lg g = 4.5$, $v_e \sin i \approx 55$ км с $^{-1}$.

Ранее (Romanyuk et al., 2024a) было отмечено отсутствие переменности лучевой скорости. Однако, учитывая новые полученные нами результаты измерений и литературные данные, можно с уверенностью сказать, что лучевая скорость варьируется от $V_r = -2.0$ км с $^{-1}$ (Perry and Bidelman, 1965) до 20.51 ± 0.57 км с $^{-1}$ (Zhang et al., 2023).

Таблица 4. Значения среднеквадратического магнитного поля и параметра χ^2/n для звезд в скоплении Trumpler 37

Звезда	$B_{\text{rms}} (\text{reg}) \pm \sigma, \text{ Гс}$	χ^2/n
HD 239712	70 ± 193	0.2
HD 239746	125 ± 172	0.6
HD 239758	19 ± 180	0.0
HD 239767	217 ± 190	1.1
BD +57° 2358	147 ± 161	0.8
BD +57° 2376	160 ± 171	0.9

4.3. Скопление Trumpler 37

Согласно данным базы WEBDA, в скоплении Trumpler 37 обнаружено шесть CP-звезд. Поскольку это скопление молодое (см. таблицу 1), то по аналогии с ассоциацией Орион OB1 мы ожидали найти звезды с сильным магнитным полем. Однако наши исследования показали, что ни одна из этих звезд не относится к CP-звездам. В их спектрах наблюдаются сильные эмиссионные линии. Таким образом, мы приходим к выводу, что спектральная классификация этих объектов в базе WEBDA ошибочная.

Измерение магнитного поля для этих объектов классическим методом затруднено из-за наличия сильно уширенных вращением линий и эмиссионных компонентов. В свою очередь, метод регрессии показал, что магнитного поля у этих звезд нет (см. таблицу 4).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы проанализировали магнитные поля и оценили физические параметры химически пекулярных звезд в трех скоплениях: Trumpler 37, NGC 2281 и Melotte 111. По данным базы WEBDA были отобраны 16 CP-звезд, для которых был собран архивный материал, а также проведены новые наблюдения на ОЗСП. В общей сложности проанализированы 103 спектра циркулярно-поляризованного излучения.

Нами было показано, что из 16 звезд слабое магнитное поле присутствует только у HD 49040, HD 108662, HD 108945 и HD 109030:

$$\langle B_{\text{rms}} \rangle (\text{cog}) = 285 \pm 130 \text{ Гс}, \chi^2/n = 47.8;$$

$$\langle B_{\text{rms}} \rangle (\text{reg}) = 270 \pm 55 \text{ Гс}, \chi^2/n = 64.1.$$

Рисунок 4 демонстрирует зависимость среднего магнитного поля от возраста в исследованных нами скоплениях и подгруппах ассоциации Орион OB1.

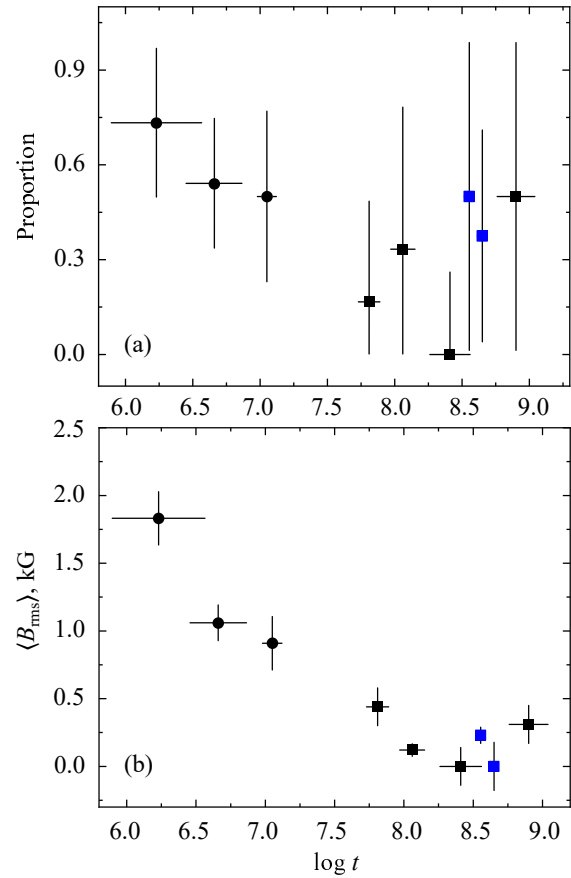


Рис. 4. Зависимость доли магнитных CP-звезд (a) и среднего магнитного поля (b) от возраста в ранее изученных (черные квадраты — α Per, Плеяды, NGC 7092 и IC 4756) и новых скоплениях (синие квадраты — NGC 2281, Melotte 111), а также в подгруппах ассоциации Орион OB1 (черные кружки).

Таким образом, мы подтверждаем результаты, полученные нами ранее (Semenko et al., 2022; Romanyuk et al., 2024b), свидетельствующие об уменьшении доли магнитных CP-звезд и величины среднего магнитного поля с возрастом.

Ассоциация Орион OB1 остается уникальной как по количеству магнитных химически пекулярных звезд, так и по величине магнитного поля. В скоплении Trumpler 37 наши исследования показали, что спектральная классификация CP-звезд не всегда соответствует действительности. В указанном скоплении мы не нашли ни химически пекулярных, ни магнитных звезд. Это говорит о том, что условия формирования звезд могут значительно различаться в разных частях Галактики и образование CP-звезд не является обязательным.

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». В работе использовались базы данных SIMBAD, VizieR, WEBDA, NASA's Astrophysics Data System (ADS).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа по обработке и анализу наблюдений выполнена в рамках гранта РНФ № 25-12-00003.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. A. Abt and D. W. Willmarth, *Astrophys. J.* **521** (2), 682 (1999). DOI:10.1086/307569
2. M. Aurière, G. A. Wade, J. Silvester, et al., *Astron. and Astrophys.* **475** (3), 1053 (2007). DOI:10.1051/0004-6361:20078189
3. H. W. Babcock, *Astrophys. J. Suppl.* **3**, 141 (1958). DOI:10.1086/190035
4. S. Bagnulo, L. Fossati, J. D. Landstreet, and C. Izzo, *Astron. and Astrophys.* **583**, id. A115 (2015). DOI:10.1051/0004-6361/201526497
5. S. Bagnulo, T. Szeifert, G. A. Wade, et al., *Astron. and Astrophys.* **389**, 191 (2002). DOI:10.1051/0004-6361:20020606
6. D. A. Bohlender, J. D. Landstreet, and I. B. Thompson, *Astron. and Astrophys.* **269**, 355 (1993).
7. T. Cantat-Gaudin, F. Anders, A. Castro-Ginard, et al., *Astron. and Astrophys.* **640**, id. A1 (2020). DOI:10.1051/0004-6361/202038192
8. T. Cantat-Gaudin, C. Jordi, A. Vallenari, et al., *Astron. and Astrophys.* **618**, id. A93 (2018). DOI:10.1051/0004-6361/201833476
9. S. L. Casewell, R. F. Jameson, and P. D. Dobbie, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **365** (2), 447 (2006). DOI:10.1111/j.1365-2966.2005.09689.x
10. G. A. Chountonov, *Astrophysical Bulletin* **71** (4), 489 (2016). DOI:10.1134/S199034131604012X
11. J. F. Dominy and M. A. Smith, *Astrophys. J.* **217**, 494 (1977). DOI:10.1086/155598
12. M. Gebran, W. Farah, F. Paletou, et al., *Astron. and Astrophys.* **589**, id. A83 (2016). DOI:10.1051/0004-6361/201528052
13. R. Głębocki and P. Gnaniński, in *13th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*. Ed. by F. Favata, G. A. J. Hussain, B. Battrick, (ESA SP-560, European Space Agency, 2005), pp. 571–573.
14. R. O. Gray, M. G. Napier, and L. I. Winkler, *Astron. J.* **121** (4), 2148 (2001). DOI:10.1086/319956
15. C. A. Guerrero, V. G. Orlov, M. A. Monroy-Rodríguez, and M. Borges Fernandes, *Astron. J.* **150** (1), article id. 16 (2015). DOI:10.1088/0004-6256/150/1/16
16. W. E. Harper, *Publications of the Dominion Observatory Ottawa* **4**, 331 (1920).
17. S. Hubrig, P. North, M. Schöller, and G. Mathys, *Astronomische Nachrichten* **327**, 289 (2006). DOI:10.1002/asna.200610535
18. N. V. Kharchenko, A. E. Piskunov, S. Röser, et al., *Astronomische Nachrichten* **325** (9), 740 (2004). DOI:10.1002/asna.200410256
19. J. Kos, *Astron. and Astrophys.* **691**, id. A28 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202449828
20. D. O. Kudryavtsev, in *Proc. Intern. Meeting on Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars, SAO RAS, Nizhnij Arkhyz, Russia, 1999*, Ed. by Y. V. Glagolevskij and I. I. Romanyuk, (Spec. Astrophys. Obs., Nizhnii Arkhyz, 2000), pp. 84–88.
21. D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk, V. G. Elkin, and E. Paunzen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **372** (4), 1804 (2006). DOI:10.1111/j.1365-2966.2006.10994.x
22. J. D. Landstreet, J. Silaj, V. Andretta, et al., *Astron. and Astrophys.* **481** (2), 465 (2008). DOI:10.1051/0004-6361:20078884
23. B. D. Mason, G. L. Wycoff, W. I. Hartkopf, et al., *Astron. J.* **122** (6), 3466 (2001). DOI:10.1086/323920
24. I. McDonald, A. A. Zijlstra, and R. A. Watson, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **471** (1), 770 (2017). DOI:10.1093/mnras/stx1433
25. J. C. Mermilliod, *Bulletin d'Information du Centre de Données Stellaires* **16**, 2 (1979).
26. J. C. Mermilliod and E. Paunzen, *Astron. and Astrophys.* **410**, 511 (2003). DOI:10.1051/0004-6361:20031112
27. A. V. Moiseeva, I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **74** (1), 62 (2019). DOI:10.1134/S1990341319010061
28. M. Netopil, E. Paunzen, S. Hümmerich, and K. Bernhard, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **468** (3), 2745 (2017). DOI:10.1093/mnras/stx674
29. V. E. Panchuk, G. A. Chuntunov, and I. D. Naidenov, *Astrophysical Bulletin* **69** (3), 339 (2014). DOI:10.1134/S1990341314030109
30. E. Paunzen, *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso* **38** (2), 435 (2008).
31. E. Paunzen, *Astron. and Astrophys.* **580**, id. A23 (2015). DOI:10.1051/0004-6361/201526413
32. E. Paunzen, G. Handler, P. Walczak, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **485** (3), 4247 (2019). DOI:10.1093/mnras/stz413
33. C. L. Perry and W. P. Bidelman, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **77** (456), 202 (1965). DOI:10.1086/128192
34. N. Piskunov and J. A. Valenti, *Astron. and Astrophys.* **597**, id. A16 (2017). DOI:10.1051/0004-6361/201629124
35. G. W. Preston, *Astrophys. J.* **164**, 309 (1971). DOI:10.1086/150840

36. G. W. Preston, K. Stepien, and S. C. Wolff, *Astrophys. J.* **156**, 653 (1969). DOI:10.1086/149995
37. S.-B. Qian, X.-D. Shi, L.-Y. Zhu, et al., *Research in Astronomy and Astrophysics* **19** (5), article id. 064 (2019). DOI:10.1088/1674-4527/19/5/64
38. S. Qin, J. Zhong, T. Tang, and L. Chen, *Astrophys. J. Suppl.* **265** (1), 12 (2023). DOI:10.3847/1538-4365/acadd6
39. P. Renson and J. Manfroid, *Astron. and Astrophys.* **498** (3), 961 (2009). DOI:10.1051/0004-6361/200810788
40. A. M. Romanovskaya, T. A. Ryabchikova, and D. V. Shulyak, *INASAN Science Reports* **5**, 219 (2020). DOI:10.26087/INASAN.2020.5.4.010
41. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, I. A. Yakunin, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **79** (4), 644 (2024a). DOI:10.1134/S1990341324600728
42. I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. V. Moiseeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **79** (1), 95 (2024b). DOI:10.1134/S1990341323600357
43. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, I. A. Yakunin, and V. N. Aitov, *Astrophysical Bulletin* **78** (2), 152 (2023a). DOI:10.1134/S1990341323020062
44. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, I. A. Yakunin, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (1), 36 (2023b). DOI:10.1134/S1990341323010078
45. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, E. A. Semenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **77** (1), 94 (2022a). DOI:10.1134/S1990341322010096
46. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, E. A. Semenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **77** (3), 271 (2022b). DOI:10.1134/S1990341322030105
47. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, E. A. Semenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **75** (3), 294 (2020). DOI:10.1134/S1990341320030104
48. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, A. V. Moiseeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **73** (2), 178 (2018). DOI:10.1134/S1990341318020050
49. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **69** (4), 427 (2014). DOI:10.1134/S1990341314040051
50. Y. S. Rustamov and A. N. Khotnyanskij, *Soviet Astronomy Letters* **6**, 202 (1980).
51. T. Ryabchikova, N. Piskunov, R. L. Kurucz, et al., *Physica Scripta* **90** (5), article id. 054005 (2015). DOI:10.1088/0031-8949/90/5/054005
52. E. Semenko, I. Romanyuk, I. Yakunin, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **515** (1), 998 (2022). DOI:10.1093/mnras/stac1864
53. S. L. S. Shorlin, G. A. Wade, J. F. Donati, et al., *Astron. and Astrophys.* **392**, 637 (2002). DOI:10.1051/0004-6361:20021192
54. D. Shulyak, V. Tsymbal, T. Ryabchikova, et al., *Astron. and Astrophys.* **428**, 993 (2004). DOI:10.1051/0004-6361:20034169
55. J. Sikora, G. A. Wade, J. Power, and C. Neiner, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **483** (3), 3127 (2019). DOI:10.1093/mnras/sty2895
56. L. Spina, Y.-S. Ting, G. M. De Silva et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **503** (3), 3279 (2021). DOI:10.1093/mnras/stab471
57. C. Soubiran, J.-F. Le Campion, N. Brouillet, and L. Chemin, *Astron. and Astrophys.* **591**, id. A118 (2016) DOI:10.1051/0004-6361/201628497
58. K. Thomson-Paressant, C. Neiner, and J. Labadie-Bartz, *Astron. and Astrophys.* **689**, id. A208 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202450651
59. A. Tokovinin, B. D. Mason, R. A. Mendez, and E. Costa, *Astron. J.* **168** (1), id. 28 (2024). DOI:10.3847/1538-3881/ad4d56
60. A. Vallenari et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A1 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202243940
61. L.-y. Zhang, T. Su, P. Misra, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **264** (1), 17 (2023). DOI:10.3847/1538-4365/ac9b28
62. J. Zorec and F. Royer, *Astron. and Astrophys.* **537**, id. A120 (2012). DOI:10.1051/0004-6361/201117691

Magnetic Fields of Chemically Peculiar Stars in Clusters Trumpler 37, NGC 2281, and Melotte 111

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

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

We continue to search for and analyze magnetic fields of chemically peculiar stars in open clusters of different ages. The paper presents the analysis of the star clusters Trumpler 37, NGC 2281, and Melotte 111. The observed data were obtained using the Main Stellar Spectrograph installed at the 6-m telescope of SAO RAS. No CP stars were found in the Trumpler 37 cluster: all six candidates turned out to be non-magnetic stars with strong emission lines in their spectra. In NGC 2281, we observed only two stars, HD 49040 and HD 49363. Several magnetic stars with weak fields have been discovered in the Melotte 111 cluster. As a result, we did not find stars with a strong (more than 1 kG) longitudinal magnetic field in any of the studied clusters.

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