

УДК 524.31.084-337; 524.3-54

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭВОЛЮЦИИ СИЛЬНО ЗАМАГНИЧЕННЫХ ЗВЕЗД — БЕЛЫХ КАРЛИКОВ.

I. НАБЛЮДЕНИЯ

© 2022 В. Н. Аитов^{1*}, Г. Г. Валявин^{1**}, А. Ф. Валеев^{1,2},
Г. Ш. Митиани¹, А. С. Москвитин¹, Э. В. Емельянов¹, Т. А. Фатхуллин¹,
К. А. Антонюк^{2,1}, Г. А. Галазутдинов^{2,1}, А. Р. Закинян³, С. А. Куникин³

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, 298409 Россия

³Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, 355017 Россия

Поступила в редакцию 2 февраля 2022 года; после доработки 5 апреля 2022 года; принята к публикации 12 апреля 2022 года

Представлены результаты наблюдений по программе поиска сильноземагниченных белых карликов среди эволюционно старых звезд этого класса. Программа выполнялась на протяжении двух лет на 1-м телескопе САО РАН. Были обнаружены новые кандидаты в белые карлики разных возрастов со сверхсильными (от нескольких мегагаусс до сотен мегагаусс) магнитными полями. Эти наблюдения вместе с исследованиями других авторов позволили дать новую оценку частоты встречаемости магнитных белых карликов среди старых звезд. Наши результаты подтверждают ранее сделанные предположения о том, что частота встречаемости далеко проэволюционировавших магнитных белых карликов с магнитными полями величиной от нескольких мегагаусс и выше и с температурами менее 10 000 К находится на уровне 15% и более, в то время как для таких звезд среди молодых белых карликов она не превышает 4–6%. Это означает, что тепловая эволюция физических свойств магнитных белых карликов отличается от тепловой эволюции их слабомагнитных родственников.

Ключевые слова: *звезды: белые карлики — звезды: магнитные поля — звезды: эволюция*

1. ВВЕДЕНИЕ

Начиная с семидесятых годов прошлого столетия, поиск «магнитных» белых карликов (магнитных БК, МБК) с поверхностными магнитными полями от десятка мегагаусс и выше проводился целым рядом авторов (Antonjuk et al. 2016; 2019, Aznar Cuadrado et al. 2004, Bagnulo and Landstreet 2021; 2020, Bagnulo et al. 2018, Bagnulo and Landstreet 2018, Kepler et al. 2013, Kemp et al. 1970, Schmidt and Norsworthy 1991, Schmidt and Smith 1995, Valyavin et al. 2006). Основными целями этих поисков являлись оценка частоты встречаемости МБК среди всей популяции известных белых карликов и изучение ее зависимости от других физических характеристик вырожденных звезд, в частности, от их возрастов. Согласно результатам работ Bagnulo and Landstreet (2021), Fabrika and Valyavin (1999), Liebert and Sion (1979), Liebert et al. (2003), Sion et al. (2014), Valyavin and Fabrika

(1999), Valyavin et al. (2014), частота встречаемости МБК переменна в зависимости от возраста звезды и демонстрирует значимое увеличение для далеко проэволюционировавших МБК с низкими поверхностными температурами $T_{\text{eff}} < 10\,000$ К. Как мы установили на начальном этапе исследования проблемы эволюции белых карликов с магнитными полями более 1–2 МГс (см. Valyavin et al. (2014) и ссылки там), частота встречаемости холодных (старых) сильномагнитных БК среди всех холодных БК составляет свыше 8% , в то время как доля горячих (молодых) сильномагнитных БК в общем количестве БК тех же температур и возрастов не превышает 4%. Попытки объяснить эту закономерность усилением магнитного поля с возрастом при участии конвекции (Kepler et al. 2013) не выдерживают критики, поскольку конвекция на белых карликах полностью остановлена мегагауссными (и выше) магнитными полями (Valyavin et al. 2014). Наше объяснение состоит в том, что торможение выноса тепла из недр остывающего МБК замедляет остывание и задерживает его на эволюционной шкале по сравнению со слабомагнит-

*E-mail: vit9517@sao.ru

**E-mail: gvalyavin@gmail.com

ным белым карликом. В результате, по мере охлаждения, в низкотемпературном конце диаграммы распределения белых карликов по температурам (возрастам) количество сильномагнитных БК увеличивается по сравнению с молодыми объектами того же класса. Знание эволюционных треков МБК с разными величинами магнитных полей дает возможность не просто качественно описать явление торможения магнитным полем выноса тепла из недр плазменных самогравитирующих систем, но и в первом приближении развить теорию этого явления с нахождением соответствующих эмпирических поправок из астрофизических наблюдений. Однако из-за недостатка наблюдательных данных статистики известных МБК разных температур для построения эволюционных треков недостаточно. Для успешного решения задачи требуется проведение дополнительных поляризационных наблюдений, связанных с поиском новых МБК.

Как уже говорилось выше, за различие частот встречаемости БК с разными параметрами, по нашему мнению, ответственен эффект подавления конвекции сильными поверхностными магнитными полями МБК. Более того, мы считаем, что полученные на настоящий момент оценки частот встречаемости низкотемпературных далеко проэволюционировавших МБК занижены. Причиной недооценки является тот факт, что белые карлики с температурами менее 6000 К представляют собой, как правило, слабые объекты, с характерными звездными величинами слабее 15^m. Поиск и исследование таких звезд с помощью спектрополяриметрии возможны только при использовании телескопов с апертурами более 1 метра. В настоящей работе представлены результаты наших поляриметрических наблюдений для поиска новых магнитных БК.

2. ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕДУКЦИЯ ДАННЫХ

В исследуемую выборку мы включили белые карлики, находящиеся на расстояниях до 25 пк от Солнца (Holberg et al. 2016). Всего в списке около 240 объектов. Мы выбрали несколько десятков наиболее холодных звезд этого класса из еще непроверенных на наличие у них магнитных полей. Наблюдения проводились на 1-м телескопе САО РАН, на фотометре-поляриметре ММРР (Emelyanov and Fatkhullin 2019, Komarov et al. 2020) в моде круговой поляризации в белом свете (без фильтров). В настоящей модификации прибор является однолучевым; в качестве основного поляризационного элемента используется поляроид, преобразующий входящий неполяризованный свет в поляризованный на уровне 95% во всем видимом

диапазоне. Для наблюдения круговой поляризации перед поляроидом размещается вращающаяся фазовая пластина $\lambda/4$. Чтобы сделать одну оценку круговой поляризации, необходимо получить два последовательных кадра с положением пластины $\lambda/4$ в положении $+45^\circ$ и -45° . Однако в такой конфигурации реальная точность наблюдений круговой поляризации значительно отягощена нестабильностью земной атмосферы на временах, сравнимых с временем получения двух последовательных экспозиций. Для уменьшения влияния флуктуаций атмосферы мы делаем длинные серии парных экспозиций в двух ортогональных положениях четвертьволновой фазовой пластины. Обычно для получения устойчивого результата необходимо сделать 20–30 экспозиций. Редукция данных сводится к стандартным фотометрическим процедурам, которые мы обычно используем в наших исследованиях (Valeev et al. 2015; 2017, Valyavin et al. 2018). Перевод полученных в результате этой обработки потоков от исследуемой звезды при двух ортогональных положениях четвертьволновой пластины F_{+45° , F_{-45° в значения круговой поляризации P осуществляется также по стандартной формуле:

$$P = (F_{+45^\circ} - F_{-45^\circ}) / (F_{+45^\circ} + F_{-45^\circ}). \quad (1)$$

В конечном итоге предельная точность измерения интегральной круговой поляризации составила величину около 0.1%. Формально значения могут получаться и меньше, но в данном исследовании мы не считаем такие точности надежными. Отметим, что указанной величины абсолютно достаточно для детектирования МБК с магнитным полем от десяти мегагаусс и выше, поскольку подобные звезды имеют круговую поляризацию по спектру значительно больше 0.1%.

Наблюдения проводились в период с февраля 2019 года по сентябрь 2020 года по 6–10 сетов в год длительностью 4–8 ночей в каждом сете. Каждая звезда списка наблюдалась блоками из коротких (порядка десятков секунд) последовательных экспозиций при двух положениях четвертьволновой пластины от 1–2 до 4–5 часов в течение нескольких ночей. Характерные периоды вращения белых карликов находятся в промежутке от нескольких часов до нескольких дней (Brinkworth et al. 2013, Valyavin et al. 2005; 2008; 2011), и выбор такой стратегии наблюдений позволяет избежать попадания в случайную геометрическую конфигурацию, в которой в процессе собственного вращения МБК его положительная и отрицательная области компенсируют друг друга, приводя к «нулю» в интегральной проекции на луч зрения¹.

¹Такая конфигурация в сообществе иногда называется «магнитным кроссовером».

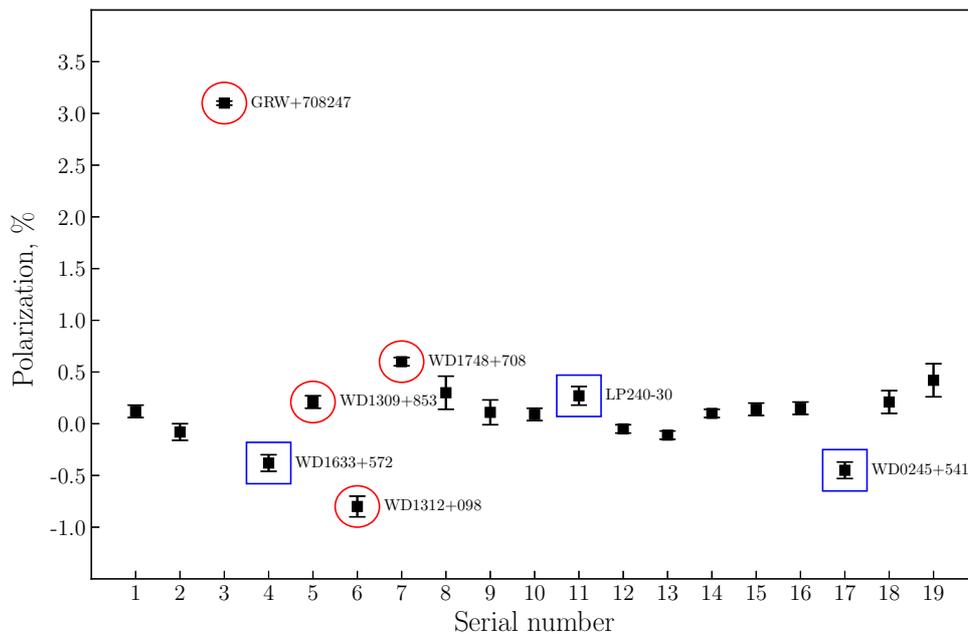


Рис. 1. Значения средней по всем наблюдениям круговой поляризации для всех звезд списка. По оси абсцисс — порядковый номер звезды в таблице 1. Окружности соответствуют магнитным звездам-стандартам. Новые положительные детектирования обведены квадратиками.

Для контроля корректности оценок измеренной поляризации в каждую ночь мы наблюдали МБК с известной круговой поляризацией. Для контроля «нуля» мы измеряли магнитное поле у нескольких звезд в кадре вблизи исследуемого белого карлика. Значительная круговая поляризация, более 0.1% по спектру, детектируется у большинства звезд крайне редко, поэтому наблюдений двух–трех объектов в поле кадра вблизи исследуемого БК абсолютно достаточно без боязни случайно наткнуться на такой случай.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В настоящем исследовании мы приводим результаты наблюдений 19 белых карликов, включая данные для четырех известных МБК. Полный список МБК с еще примерно полутора десятками объектов будет представлен в следующих статьях. Целевые, представленные в данной работе, белые карлики с температурами менее 7000 К выбирались на расстоянии в пределах 25 пк от Солнца. Это 15 звезд. Наблюдения четырех известных магнитных белых карликов: GRW+708247 (Kemp et al. 1970), WD 1309+853, WD 1312+098, WD 1748+708 (Schmidt and Norsworthy 1991) были проведены для стандартизации и проверки возможностей нового прибора и показали значимую поляризацию ожидаемой величины (см. рис. 1). Результаты также практически совпадают (с точностью до исследуемого диапазона по длинам волн)

с недавними подобными наблюдениями группы Бердюгина (Verdyugin et al. 2022), что является иллюстрацией пригодности используемого нами инструмента для решения поставленной задачи. В основном для стандартизации мы наблюдали GRW+708247, так как это достаточно яркий (13^m) объект, его характерная круговая поляризация составляет порядка 3%, а также потому, что для широты САО РАН (примерно 43°) он является незаходящим.

При рассмотрении результатов, представленных в таблице 1, можно сделать вывод, что для большинства исследуемых звезд нет значимых детектирований. Между тем среди 15 целевых объектов были выявлены три новых кандидата в магнитные белые карлики (обведены квадратиками на рис. 1) со значениями круговой поляризации $0.27\% \pm 0.09\%$ у LP 240–30, $-0.38\% \pm 0.08\%$ у WD 1633+572 и $-0.45\% \pm 0.08\%$ у WD 0245+541. На гистограмме (рис. 2) значимость оценок уровня их круговой поляризации обозначена столбцами серого цвета. Для независимого подтверждения магнитной природы этих звезд и измерения напряженностей магнитных полей на их поверхностях планируются наблюдения на телескопах БТА САО РАН и ЗТШ КрАО. В этой же статье мы будем рассматривать новые объекты как вероятные кандидаты в МБК со сверхсильными (десятки–сотни мегагаусс) полями.

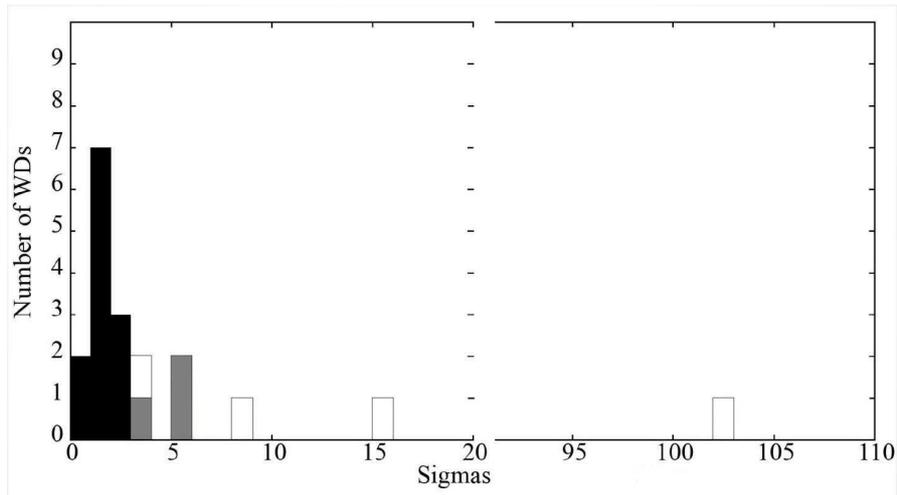


Рис. 2. Гистограмма количества объектов списка в зависимости от полученного для них значения амплитуды круговой поляризации, нормированной на неточность измерений, «Sigmas». Черные столбцы иллюстрируют нулевой результат. Серые столбцы — положительные детектирования, превышающие пороговое значение 3σ . Белые столбцы — известные МБК.

Таблица 1. Результаты поляриметрических наблюдений белых карликов

№	Объект	JD	Экспозиция, часы	P	σ
1	WD 1532 + 129	2458624.41	5.2	0.0009	0.0008
		2458917.48	1.9	0.0101	0.0016
		2458981.39	1.9	-0.0006	0.0014
		2459007.36	1.9	-0.0031	0.0014
		Σ			0.0012
2	WD 1257 + 037	2458626.27	1.0	0.0064	0.0012
		2458980.48	1.4	-0.0115	0.0037
		2458981.28	2.1	-0.0045	0.0014
		2458983.27	1.0	-0.0102	0.0029
		2458984.36	2.2	-0.0065	0.0021
Σ			-0.0008	0.0008	
3	GRW + 708247	2458627.50	0.6	0.0315	0.0006
		2458711.43	0.6	0.0308	0.0007
		2458771.18	0.6	0.0315	0.0009
		2458772.17	0.9	0.0345	0.0006
		2458833.12	0.3	0.0271	0.0008
		2458981.53	0.5	0.0284	0.0007
		2459007.50	0.6	0.0306	0.0006
		2459008.51	0.6	0.0306	0.0006
Σ			0.031	0.0002	
4	WD 1633 + 572	2458627.45	1.7	0.0017	0.0021
		2458917.57	1.8	-0.0049	0.0019

Таблица 1. (Продолжение)

№	Объект	JD	Экспозиция, часы	P	σ
		2458921.58	1.6	-0.0036	0.0022
		2458948.53	2.0	-0.0022	0.0038
		2458949.49	4.1	-0.0015	0.0022
		2451091.48	3.5	-0.0122	0.0023
		2451093.29	2.7	-0.0016	0.0021
		2451094.24	1.8	-0.0055	0.0018
		Σ			-0.0038
5	WD 1309 + 853	2458627.35	2.4	0.0023	0.0008
		2459006.39	2.4	0.0134	0.0032
		2459009.46	2.4	0.0017	0.0013
		2459011.32	1.9	-0.0031	0.0021
		Σ			0.0021
6	WD 1312 + 098	2458598.38	2.8	-0.0092	0.0012
		2458597.44	3.9	-0.0047	0.002
		2459008.37	1.9	-0.0011	0.0042
		2459009.31	1.9	-0.0101	0.0023
		Σ			-0.0080
7	WD 1748 + 708	2458685.49	1.7	-0.0087	0.0009
		2458981.47	1.9	0.0139	0.0006
		2458984.45	1.9	0.0111	0.0017
		2459006.48	1.0	-0.0021	0.0012
		Σ			0.0060
8	LSR J2059 + 5517	2458710.38	3.4	0.0053	0.0019
		2458711.49	2.3	-0.0028	0.0033
		2459008.45	1.9	-0.0372	0.0200
		Σ			0.003
9	WD 1814 + 134	2458710.26	1.5	0.0021	0.0018
		2458711.26	1.0	0.0015	0.0021
		2459007.46	1.9	-0.0009	0.0022
		Σ			0.0011
10	WD 2215 + 388	2458711.37	2.2	-0.0012	0.0026
		2458771.25	1.9	0.0008	0.0009
		2458772.24	1.9	-0.006	0.0033
		2458773.54	1.9	0.0016	0.0008
		Σ			0.0009
11	LP 240 - 30	2458771.47	1.9	0.0029	0.0016
		2458772.55	2.4	0.0037	0.0025

Таблица 1. (Продолжение)

№	Объект	JD	Экспозиция, часы	P	σ
		2458773.54	2.8	0.0081	0.0025
		2459092.376	2.4	0.0012	0.0019
		2459095.413	1.9	-0.0004	0.003
		2459096.432	1.9	-0.0001	0.003
		Σ		0.0027	0.0009
12	WD 2307 + 548	2458771.31	1.0	-0.0011	0.0008
		2458772.33	1.9	-0.0002	0.0007
		2458773.29	1.8	-0.0003	0.0007
		Σ		-0.0005	0.0004
13	WD 2322 + 137	2458771.38	1.9	-0.0035	0.0011
		2458772.45	1.9	-0.0019	0.0011
		2458773.43	1.9	-0.0022	0.0009
		2459108.407	2.6	0.0004	0.0006
		Σ		-0.0011	0.0004
14	WD 0123 + 732	2458774.37	2.1	0.0038	0.0006
		2458829.45	2.0	-0.0009	0.0006
		2458830.48	1.5	0.0000	0.0006
		Σ		0.0010	0.0004
15	WD 2248 + 293	2458774.19	1.9	0.0012	0.0033
		2458775.30	1.9	0.0004	0.0018
		2458829.16	1.9	0.0014	0.0021
		2458830.16	1.9	0.0022	0.0015
		Σ		0.0014	0.0009
16	WD 2347 + 292	2458774.27	1.9	-0.0006	0.0008
		2458829.25	2.0	0.0000	0.0013
		2458830.24	1.9	-0.0049	0.0012
		Σ		0.0015	0.0006
17	WD 0245 + 541	2458771.55	1.4	-0.0005	0.0022
		2458829.34	2.1	-0.0069	0.0020
		2458830.33	1.9	-0.0068	0.0019
		2459093.497	2.9	-0.0029	0.0020
		2459094.503	3.1	-0.0041	0.0019
		2459095.519	2.9	-0.0043	0.0039
		2459096.526	2.3	-0.0047	0.0018
		Σ		-0.0045	0.0008
18	WD 0749 + 426	2458829.54	1.9	0.0223	0.0056
		2458830.56	1.9	-0.0078	0.0058

Таблица 1. (Продолжение)

№	Объект	JD	Экспозиция, часы	P	σ
		2458916.30	4.9	-0.0009	0.005
		2458917.28	5.1	-0.0027	0.0054
		2458922.31	2.6	0.0047	0.0025
		2458948.31	5.0	-0.0009	0.0026
		2458949.29	4.7	0.0036	0.0018
		2458950.31	5.2	-0.007	0.0042
		Σ		0.0021	0.0011
19	WD 0840 – 136	2458829.62	1.4	0.0043	0.0019
		2458830.62	0.8	0.0040	0.0029
		Σ		0.0042	0.0016

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Мы представили промежуточные результаты спектрофотометрических широкополосных наблюдений белых карликов с целью поиска среди них новых магнитных белых карликов со сверхсильными магнитными полями (от нескольких мегагаусс и более). Наблюдения в интегральном свете позволили выявить в списке из 15 объектов три новых кандидата, продемонстрировавших значимое наличие круговой поляризации в их спектрах.

Приведенные результаты следует рассматривать как отборочные для выявления кандидатов в МБК и проведения подтверждающих спектрополяриметрических наблюдений на 6-м телескопе БТА САО РАН. То есть те объекты, которые показали наличие круговой поляризации на уровне более 3σ , мы пока не рассматриваем в качестве стопроцентных положительных детектированных новых МБК. Окончательно их магнитная природа будет выявлена после нескольких экспертиз в рамках спектрополяриметрических наблюдений на больших телескопах. Такова традиционная практика каталогизирования МБК, в рамках которой наша группа работает около тридцати лет.

Теоретический анализ результатов наших наблюдений, а также наблюдений других авторов приведен нами во второй статье серии в этом же сборнике (Aitov et al. 2022). В этой работе мы лишь констатируем, что исходя из рассмотрения данных наших наблюдений и результатов других авторов, частота встречаемости МБК в низкотемпературной области составляет 15% в том случае, если наши кандидаты не будут в дальнейшем подтверждены как МБК, и 18% в том случае, если все наши кандидаты будут далее признаны МБК. Это еще один аргумент в пользу того, что МБК имеют свой, несколько отличный от обычных белых карликов

эволюционный путь. Более детальный статистический анализ данных мы представляем во второй нашей статье этого выпуска (Aitov et al. 2022).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект № 18-29-21030 мк. Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. N. Aitov, G. G. Valyavin, A. F. Valeev, et al., *Astrophysical Bulletin* **77** (3) (2022) [in press].
2. K. A. Antonyuk, S. V. Kolesnikov, N. V. Pit, et al., *Astrophysical Bulletin* **71**, 475 (2016).
3. K. A. Antonyuk, G. G. Valyavin, A. F. Valeev, et al., *Astrophysical Bulletin* **74**, 172 (2019).
4. R. Aznar Cuadrado, S. Jordan, R. Napiwotzki, et al., *Astron. and Astrophys.* **423**, 1081 (2004).
5. S. Bagnulo and J. D. Landstreet, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **507**, 5209 (2021).
6. S. Bagnulo and J. D. Landstreet, *Astron. and Astrophys.* **643**, id. A134 (2020).
7. S. Bagnulo, J. D. Landstreet, A. J. Martin, and G. Valyavin, *Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* **48** 236 (2018).
8. S. Bagnulo and J. D. Landstreet, *Astron. and Astrophys.* **618**, 113 (2018).

9. A. V. Berdyugin, V. Pirola, S. Bagnulo, et al., *Astron. and Astrophys.* **657**, id. A105 (2022).
10. C. S. Brinkworth, M. R. Burleigh, K. Lawrie, et al., *Astrophys. J.* **773**, id. 47 (2013).
11. E. V. Emelyanov and T. A. Fatkhullin, in *Proc. 9th All-Russian Sci. Conf. on Systemnyj sintez i prikladnaya sinergetika, Rostov-On-Don, Russia, 2019* (SFEDU Press, Rostov-On-Don, 2019), pp. 216–221.
12. S. Fabrika and G. Valyavin, *ASP Conf. Ser.* **169**, 214 (1999).
13. J. B. Holberg, T. D. Oswalt, E. M. Sion, and G. P. McCook, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **462**, 2295 (2016).
14. S. O. Kepler, I. Pelisoli, S. Jordan, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **429**, 2934 (2013).
15. J. C. Kemp, J. B. Swedlund, J. D. Landstreet, and J. R. P. Angel, *Astrophys. J.* **161**, L77 (1970).
16. V. V. Komarov, A. S. Moskvitin, V. D. Bychkov, et al., *Astrophysical Bulletin* **75**, 486 (2020).
17. J. Liebert and E. M. Sion, *Astrophys. Lett.* **20**, 53 (1979).
18. J. Liebert, P. Bergeron, and J. B. Holberg, *Astron. J.* **125**, 348 (2003).
19. E. M. Sion, J. B. Holberg, T. D. Oswalt, et al., *Astron. J.* **147**, id. 129, (2014).
20. G. D. Schmidt and J. E. Norworthy, *Astrophys. J.* **366**, 270 (1991).
21. G. D. Schmidt, and P. S. Smith, *Astrophys. J.* **448**, 305 (1995).
22. A. F. Valeev, K. A. Antonyuk, N. V. Pit, et al., *Astrophysical Bulletin* **70**, 318 (2015).
23. A. F. Valeev, K. A. Antonyuk, N. V. Pit, et al., *Astrophysical Bulletin* **72**, 44 (2017).
24. G. Valyavin and S. Fabrika, *ASP Conf. Ser.* **169**, 206 (1999).
25. G. Valyavin, S. Bagnulo, D. Monin, et al., *Astron. and Astrophys.* **439**, 1099 (2005).
26. G. Valyavin, S. Bagnulo, S. Fabrika, et al., *Astrophys. J.* **648**, 559 (2006).
27. G. Valyavin, G. A. Wade, S. Bagnulo, et al., *Astrophys. J.* **683**, 466 (2008).
28. G. Valyavin, K. Antonyuk, S. Plachinda, et al., *Astrophys. J.* **734**, id. 17 (2011).
29. G. Valyavin, D. Shulyak, G. A. Wade, et al., *Nature* **515**, 88 (2014).
30. G. G. Valyavin, D. R. Gadelshin, A. F. Valeev, et al., *Astrophysical Bulletin* **73**, 225 (2018).

Studies of Features of Evolution of Highly Magnetized Stars—White Dwarfs.

I. Observations

V. N. Aitov¹, G. G. Valyavin¹, A. F. Valeev^{1,2}, G. Sh. Mitiani¹, A. S. Moskvitin¹, E. V. Emelianov¹, T. A. Fatkhullin¹, K. A. Antonyuk^{2,1}, G. A. Galazutdinov^{2,1}, A. R. Zakinian³, and S. A. Kunikin³

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

²Crimean Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nauchny, 298409 Russia

³North-Caucasus Federal University, Stavropol, 355017 Russia

We present the results of observations within the program for the search for new highly magnetized white dwarfs among evolutionary old stars of this class. The program was carried out for two years at the 1-m telescope of the SAO RAS. As a result, new white dwarf candidates of different ages with super-strong (several megagauss, tens, hundreds of megagauss) magnetic fields were discovered. These observations, along with the observations of other authors made it possible to make a new estimate of the frequency of occurrence of magnetic white dwarfs among old stars. Our results confirm our earlier assumptions that the frequency of occurrence of far-evolved magnetic white dwarfs with magnetic fields of several megagauss or higher and with the temperatures of less than 10 000 K is at the level of 15% or higher, while the frequency of occurrence of such stars among young white dwarfs does not exceed 4–6%. This fact means that the thermal evolution of the physical properties of magnetic white dwarfs differs from the thermal evolution of their weakly magnetic counterparts.

Keywords: *stars: white dwarfs—stars: magnetic field—stars: evolution*