

УДК 52-14:524.35-337

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ И РОДСТВЕННЫХ ИМ ЗВЕЗД. X. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2023 ГОДА И АНАЛИЗ БЛИЖАЙШИХ ПЕРСПЕКТИВ

© 2024 И. И. Романюк^{1*}¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 13 сентября 2024 года; после доработки 27 сентября 2024 года; принята к публикации 3 октября 2024 года

Приводится обзор 61 работы, которые были выполнены в области исследования звездного магнетизма и опубликованы в 2023 г. Основной интерес исследователей сосредоточен на поиске новых магнитных звезд, мониторинге магнитных полей CP-звезд и объектов других типов. Возрос интерес к исследованию рентгеновского и радиоизлучения магнитных звезд. Большинство новых данных получено на основе астрометрии Gaia, фотометрии TESS и Kepler, спектроскопии низкого разрешения LAMOST.

Ключевые слова: *звезды: магнитное поле — звезды: химически пекулярные, активные холодные и белые карлики*

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящей работой продолжается серия наших обзоров (Romanuk, 2015; 2016; 2017; 2018; 2019; 2020; 2021; 2022; 2023), в которых публикуются результаты исследований магнитного поля химически пекулярных и родственных им звезд. Представляемая статья посвящена описанию результатов, опубликованных в рецензируемых астрономических журналах в 2023 г. В работе сохраняется традиционный порядок разделов: описание инструментов, обзор новых программ и методов анализа (раздел 2); обсуждение наблюдений и результатов исследования магнитных химически пекулярных звезд и магнитных белых карликов (раздел 3); рассмотрение результатов анализа активных холодных карликов и звезд других типов (раздел 4). По-прежнему основными источниками наблюдательных данных являются ОЗСП¹ 6-м телескопа САО РАН, спектрополяриметры FORS1/2², а также CRIRES³ на VLT и ESPaDOnS⁴ на CFHT.

*E-mail: roman@sao.ru

¹ОЗСП: <https://www.sao.ru/hq/lizm/mss/en/index.html>²FORS1/2: <https://www.eso.org/public/teles-instr/paranal-observatory/vlt/vlt-instr/fors/>³CRIRES: <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/crires.html>⁴ESPaDOnS: <https://www.cfht.hawaii.edu/Instruments/Spectroscopy/ESPaDOnS/>

2. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

В данном разделе рассматриваются проекты новых телескопов, спектрографов и другого оборудования, а также новые программы, методы обработки и анализа данных.

2.1. Новые телескопы и навесное оборудование

Dorn et al. (2023) описывают спектрограф CRIRES+ как обновленный вариант спектрографа CRIRES для телескопов VLT. Одновременно регистрируемый спектральный интервал увеличен на порядок. В фокальной плоскости установлены три детектора Hawaii 2RG. Среди многих других усовершенствований добавлена спектрополяриметрическая мода. Прибор работает с октября 2021 г.

В миссии POLSTAR (Scowen et al., 2022) задействован спектрополяриметр, работающий в ультрафиолетовой области длин волн. Прибор позволяет измерять все четыре параметра Стокса. Спектрополяриметр используется для изучения поляризации ветра и дисков горячих звезд. Прибор работает в далекой УФ-области (122–200 нм) со спектральным разрешением $R = 30\,000$ и ближней УФ-области (122–320 нм) с низким спектральным разрешением. Типичное время одной экспозиции составляет 5–10 минут.

Yakovlev et al. (2023) представили первые результаты фотометрического мониторинга, который

был проведен на новом роботизированном 50-см телескопе САО РАН в течение второго полугодия 2020 года. Авторы транзитным методом нашли восемь новых кандидатов в экзопланеты в области, где ранее подобные исследования не проводились, а также обнаружили более 100 новых переменных звезд. Эти результаты показали, что 50-см роботизированный телескоп эффективен для проведения подобных работ.

Mitiani et al. (2023) исследовали нелинейность передаточной функции регистрации фотонов ПЗС-приемником эшелюного оптоволоконного спектрографа высокого спектрального разрешения БТА САО РАН. Авторы осуществили локальный анализ сигналов в изображении спектра излучения и исправление данных.

2.2. Методы обработки и анализа данных

Wehrhahn et al. (2023) представили новый пакет PySME для высокоточного анализа звездных спектров в первую очередь с целью получения фундаментальных параметров звезд, что актуально для определения характеристик экзопланет. Пакет основывается на базовой версии SME (Spectroscopy Made Easy), поддерживаемой IDL. Новая же версия переписана при помощи языка программирования Python. Авторы протестировали PySME для нескольких звезд различных спектральных типов и сравнили полученные результаты с прежними оценками SME и других методов. Было установлено, что PySME работает так же хорошо, как оригинальный SME.

Piskunov (2023) представил новый метод экстракции для кросс-дисперсионного эшелле-спектрометра, работающего в случае сложных картин, меняющихся вдоль фокальной плоскости. Приведены примеры обработки спектров, полученных как на волоконных, так и на щелевых спектрографах.

3. МАГНИТНЫЕ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫЕ ЗВЕЗДЫ

В этом разделе рассмотрим химическое содержание элементов, магнитное поле, эволюционный статус и другие параметры CP-звезд.

3.1. Химическое содержание элементов в пекулярных звездах

Romanovskaya et al. (2023) изучили химическое содержание ряда элементов и фундаментальные параметры (T_{eff} , $\lg g$ и R) четырех A-звезд с узкими линиями: γ Gem (HD 41705), σ Peg (HD 214994), θ Vir (HD 114330) и η Car (HD 193432). В работе анализируются спектры высокого разрешения,

данные спектрополяриметрии, а также проведен не-ЛТР анализ. В результате было найдено увеличение содержания тяжелых элементов с ростом температуры от 7200 К до 10 000 К с последующим падением до солнечного при температуре 13 000 К.

На новом спектрографе высокого разрешения GHOST, установленном на телескопе Gemini-South, Hayes et al. (2023) наблюдали яркую эталонную звезду с низким содержанием металлов HD 122563 и две звезды в ультратонкой карликовой галактике Reticulum II. У одной из звезд (GDR3 0928) авторы подтвердили принадлежность к группе и выявили существенное повышенное содержание легких элементов (C, N, O, Na, Mg, Si). Это первый научный результат, полученный на новом спектрографе. Такое необычное содержание наблюдается в СЕМР-по-звездах, принадлежащих другим ультратонким карликовым галактикам, и считается, что оно было получено независимым источником (например, может быть вызвано слабыми вспышками сверхновых) в результате г-процесса.

Potravnov et al. (2023a) изучили BD +30° 549 — молодую кремниевую звезду с ослабленными линиями гелия. Она находится в области звездообразования NGC 1333. Авторы обнаружили значительное усиление линий Si II и Si III, оценили фундаментальные параметры звезды и возраст $t = 2.7$ млн лет. Анализ химического содержания показал дефицит почти всех элементов, за исключением Si, Fe, Ca и P, которые находятся в избытке. Авторы считают, что аномалии кремния указывают на селективную диффузию, способствующую формированию химических пекулярностей.

Shi et al. (2023) представили каталог, основанный на наблюдениях LAMOST DR9, который содержит 2700 Ap-звезд. Кандидаты первоначально были отобраны в температурном интервале Ap/Bp-звезд. Авторы оценили фундаментальные параметры объектов, нашли семь новых переменных Ap-звезд и одну гоAp-звезду.

Chojnowski et al. (2023), используя спектры высокого разрешения UVES и APOGEE, впервые обнаружили наличие тория с существенно повышенным содержанием и пяти линий Th III у Ap-звезды CPD -62° 2717 с сильными магнитными и химическими особенностями. Ранее повышенное содержание этого элемента и наличие линий Th III было лишь заподозрено у небольшого количества Ap-звезд. Но авторам, благодаря наблюдениям с высоким разрешением сильного (8–12 кГс) магнитного поля CPD -62° 2717, путем сопоставления наблюдаемой и теоретической картин магнитного расщепления удалось достоверно зафиксировать их наличие, что делает звезду CPD -62° 2717 уникальной.

3.2. Магнитные поля пекулярных звезд

Romanyuk et al. (2023a) показали, что недавние измерения магнитного поля CP-звезд в ассоциации Орион OB1 и пяти более старых рассеянных скоплениях указывают на его реликтовое происхождение. Найдено резкое падение доли магнитных звезд и величины среднего магнитного поля в скоплениях с возрастом в интервале от нескольких миллионов до десятков миллионов лет. Весь используемый наблюдательный материал был получен на 6-м телескопе САО РАН.

Rustem et al. (2023) представили компилятивный каталог, состоящий из 1784 известных магнитных звезд, в котором указаны детали идентификации, координаты, спектральный тип и сведения о магнитном поле для каждого объекта. Основой каталога являются OBA-звезды, которые составляют около 70%, примерно 15% относятся к звездам спектрального класса FGKM, и примерно у 300 звезд классификацию нужно уточнить. Авторы рассматривают статистические свойства этих магнитных звезд. Они построили относительную интегральную функцию распределения и функцию численного распределения для всех магнитных звезд одного спектрального типа и эффективно аппроксимировали их экспоненциальной функцией усредненного квадратичного эффективного магнитного поля. Анализ также показывает, что звезды типа A и B обладают самым сильным средним магнитным полем и наилучшим образом подходят для его поиска и анализа.

Роль магнитных полей в образовании химических пятен на поверхности пекулярных звезд не вполне ясна. Для решения этой проблемы Kochukhov et al. (2023a) подробно исследовали структуру поверхности пятнистой Ap-звезды 45 Her со слабым магнитным полем. Авторы обнаружили, что этот объект является главным компонентом в долгопериодической SB1-системе, оценили его фундаментальные и атмосферные параметры, а также определили орбиту двойной звезды. Была исследована топология поля и построены карты распределения химических пятен по поверхности методом Доплер–Зеемановского картирования (Zeeman–Doppler imaging, ZDI). Поле имеет искаженную дипольную топологию со средним полем $B_s = 77$ Гс и дипольным полем $B_p = 117$ Гс. Эти результаты подтвердили тот факт, что данная звезда является наиболее слабомагнитной среди всех известных магнитных Ap-звезд. Однако, несмотря на слабое поле, химические неоднородности на поверхности демонстрируют контраст содержания до 6 dex. Авторы не обнаружили признаков дифференциального вращения поверхности или временной эволюции химических

пятен на протяжении нескольких лет. Эти результаты показывают, что для формирования пятен и поддержания стабильной структуры как самой звезды, так и ее глобального магнитного поля не требуется наличие сильного магнитного поля, что противоречит теоретическим предсказаниям.

Fréour et al. (2023) обнаружили новую магнитную горячую B-звезду V352 Peg. Авторы провели спектрополяриметрические наблюдения на ESPaDOnS в период 2018–2019 гг. и дополнили их архивным наблюдением, полученным в 2011 г. В итоге они обнаружили, что звезда находится на главной последовательности (ГП), ее химическое содержание соответствует Bp-типу: наблюдается избыток элементов железного пика (Ti, Cr и Fe) и недостаток He и O. Методом LSD авторы измерили магнитное поле звезды, а используя модель наклонного ротатора, они оценили конфигурацию ее магнитного поля. В результате данного анализа было установлено, что магнитное поле в основном дипольное, преимущественно полоидальное и в значительной степени неосесимметричное. Напряженность дипольного поля составляет около 9 кГс, а магнитная ось почти перпендикулярна к оси вращения. Также авторы по сильной переменной профилю I -параметра Стокса предполагают наличие химических пятен на поверхности звезды V352 Peg.

Mathys et al. (2023) нашли быстро осциллирующую долгопериодическую Ap-звезду с сильным магнитным полем — HD 213258. Авторы использовали спектрополяриметрический материал I - и V -параметров Стокса, полученный на ESPaDOnS в течение двух лет, фотометрические данные TESS, а также измерения лучевой скорости из базы данных CORAVEL. В результате анализа авторы однозначно классифицировали HD 213258 как Ap-звезду, оценили ее поверхностное магнитное поле $B_s \approx 3.8$ кГс и предположили, что период вращения звезды составляет примерно 50 лет. Также авторы нашли быстрые пульсации с периодом 7.58 минут, которые свойственны для гоAp-звезд. Анализ лучевой скорости показал, что, скорее всего, HD 213258 является двойной SB1-типа, а также входит в состав известной астрометрической двойной системы. Второй компонент (HD 213258b) находится близко к границе между звездными и субзвездными объектами и, возможно, является коричневым карликом. Авторы подтверждают, что HD 213258 является интересным объектом, обладающим большим количеством уникальных свойств, которые ранее по отдельности наблюдались лишь у небольшого числа Ap-звезд.

Romanyuk et al. (2023b) провели поиск и анализ магнитных свойств CP-звезд на 6-м телескопе в скоплении Плеяды и одноименной кинематической группе. В результате этого анализа в скоплении

было выделено четыре звезды с аномально усиленными линиями кремния, однако ни у одной из них магнитного поля не обнаружено. В кинематической группе Плеяд было классифицировано семь немагнитных HgMn-звезд и 14 Ar/Vr-звезд разных типов, среди которых у восьми объектов было найдено или подтверждено наличие магнитного поля, что составляет 33% относительно немагнитных CP-звезд и 57% от Ar/Vr-звезд. В группе не найдено ни одного объекта, у которого продольное магнитное поле превышало бы 2 кГс.

Romanuyuk et al. (2023c) продолжили исследование магнитного поля CP-звезд в скоплениях разного возраста. В работе представлены результаты измерений магнитного поля 19 химически пекулярных звезд в трех рассеянных скоплениях: α Per, NGC 7092 и IC 4756. Наблюдательный материал был получен на ОЗСП БТА и насчитывал более 80 спектров циркулярно-поляризованного излучения. Для каждого объекта были оценены физические параметры и приведены измерения магнитного поля как по собственным данным, так и по литературным. Авторы нашли, что величина магнитного поля в указанных скоплениях более чем в три раза меньше по сравнению с молодой ассоциацией Орион OB1. По-видимому, в этой ассоциации сложились уникальные условия, которые позволили генерировать сильное поле при формировании звезд.

Yakunin et al. (2023) представили первые результаты продолжающегося спектрального мониторинга магнитного поля звезд, чья химически пекулярная природа была выявлена ранее по фотометрическим данным космических миссий Kepler и TESS. Подтверждена эффективность метода поиска новых магнитных CP-звезд на основе фотометрических кривых блеска. Из десяти кандидатов магнитное поле было найдено у шести звезд: KIC 4180396, KIC 5264818, KIC 5473826, KIC 6065699, KIC 6864569, KIC 8324268.

Romanuyuk et al. (2023d) продолжили измерение магнитного поля и оценку физических параметров химически пекулярных звезд и представили полученные результаты для 96 объектов, наблюдения которых проводились на ОЗСП БТА в 2015 г. Авторы впервые обнаружили магнитное поле у семи звезд: HD 653, HD 8855, HD 94603, HD 188101 (KIC 6065699), HD 189160, HD 195464, BD +44° 4130. Исследования стандартных звезд показали, что, как и прежде, система магнитных измерений САО РАН устойчива и соответствует международной. Ложное инструментальное продольное магнитное поле на ОЗСП не превышает 100 Гс.

Romanuyuk et al. (2023e) выполнили новый поиск радиального (вертикального) градиента продольного магнитного поля химически пекулярной

звезды α^2 CVn. Были тщательно проанализированы литературные данные и прошлые измерения магнитного поля, а также проведены новые спектрополяриметрические наблюдения. В результате сравнения предыдущих измерений, как собственных, так и литературных, с новыми данными, которые были получены по ядрам спектральных линий высоких членов бальмеровской серии водорода, авторы показали, что существуют отличия в результатах, найденных разными методами. Подобные различия могут быть объяснены тем, что магнитное поле резко (на два порядка сильнее, чем в случае дипольной структуры) падает с высотой в атмосфере. Наблюдения также указывают на то, что крупномасштабная и мелкомасштабная структуры атмосферы α^2 CVn остаются стабильными на протяжении более чем 90 лет наблюдений.

Исследование Romanuyuk (2023) посвящено анализу работ, опубликованных в 2022 г. и выполненных в области звездного магнетизма. Всего автором проанализировано 75 статей, по которым видно, что основной интерес исследователей заключен в изучении магнетизма химически пекулярных звезд и активных холодных звезд. Найдено, что для последних наблюдается миграция магнитных пятен и изменение их конфигурации. Представлены проекты спектрографов и спектрополяметров для новых крупных телескопов.

Petit et al. (2023) опубликовали электронный каталог, содержащий данные о свойствах магнитных O-звезд, которые были ранее получены в ходе выполнения проекта MiMeS. Суммарно было получено 432 усредненных V-параметра Стокса для 97 O-звезд на спектрополяметре ESPaDOnS, среди которых 11 O-звезд входят в состав двойных или тройных систем.

При помощи оптической спектрополяриметрии и спектроскопии Chojnowski et al. (2022) обнаружили новый объект очень редкого класса сильно замагниченных, быстро вращающихся, с усиленными линиями гелия B-звезд. По оценкам авторов, продольное магнитное поле звезды меняется в диапазоне от -3.1 кГс до $+1.6$ кГс с периодом, определенным с помощью фотометрии TESS, $P = 0.971$. Прогнозируемая напряженность дипольного магнитного поля $B_d > 11$ кГс. Оптические спектры подтвердили быстрое вращение звезды ($v_e \sin i = 195$ км с $^{-1}$), увеличенное содержание гелия на поверхности и широкое переменное излучение водорода. Таким образом, авторы подтвердили, что Trumpler 16-26 является двадцатой известной звездой, четвертой по скорости вращения и самой тусклой из когда-либо обнаруженных звезд-хозяев с центробежной магнитосферой.

Интересное исследование магнетизма массивных звезд в кратных системах провели Schöller

et al. (2023). Происхождение магнитного поля в массивных O-звездах и его роль в эволюции звезд до сих пор неизвестны. Было сделано предположение, что ключом к решению данной проблемы станет исследование O-звезд в кратных системах в рассеянных скоплениях и ассоциациях, так как слияние звезд способно вызвать дифференциальное вращение, которое может быть ключевым компонентом для генерации магнитного поля. Авторы отметили, что большинство из этих систем с магнитными O-звездами имеют довольно короткие периоды обращения, вероятно, из-за того, что массивные системы играют важную роль в динамической эволюции скоплений, поскольку они могут служить механизмом обмена энергией, приводящим к образованию очень плотных двойных систем и выходу из них членов скопления.

Hubrig et al. (2023a) также исследовали вопрос происхождения магнитного поля в кратных системах O-звезд. Авторы провели спектрополяриметрический анализ 36 систем с O-звездами в качестве главного компонента. В сделанной выборке присутствуют системы с компонентами, находящимися на разных стадиях эволюции, с широкими и узкими орбитами и различными типами взаимодействий. В результате этого анализа методом LSD были обнаружены зеемановские признаки наличия магнитного поля у 22 систем, из которых в 14 системах магнитные свойства демонстрируют O-звезды, в трех системах — ранние B-звезды, а для остальных пяти систем источник поля не ясен. Авторы считают, что двойственность играет важную роль в генерации магнитного поля массивных звезд.

Hubrig et al. (2023b) провели анализ эволюционного состояния 11 химически пекулярных двойных и одиночных звезд, среди которых присутствуют объекты с сильными магнитными полями, ранее классифицированные как члены рассеянного скопления NGC 2516. По данным Gaia DR3 в настоящий момент можно определить их фотометрический и кинематический возраст, включая статус звезд с большой пространственной скоростью верхней части ГП, обладающих магнитными полями. Наличие подобных объектов является важным наблюдательным проявлением одного из сценариев образования магнитного поля для массивных звезд. Суть его заключается в слиянии объектов или образовании фазы эволюции общей оболочки, в следствии которой производится массообмен, омолаживающий звезду и вызывающий ее дифференциальное вращение, что, возможно, и является триггером для генерации магнитного поля.

Faltová et al. (2023) провели поиск новых CP2-звезд на предмет их принадлежности к гало Галактики. Обычно Ap/Bp-звезды принадлежат диску Галактики и недалеко уходят от их области звездообразования, так как время их

жизни несколько сотен миллионов лет, поэтому их открытие в гало Галактики стало большой неожиданностью. Для проведения анализа авторы использовали астрометрические данные Gaia DR3, оценки лучевой скорости звезд и их спектральной классификации, которые были получены по спектроскопии LAMOST и SDSS. В результате после фильтрации первоначальной выборки с использованием кинематических и спектроскопических критериев авторы нашли шесть CP2-звезд с кинематическими свойствами, указывающими на принадлежность к гало. Орбиты этих звезд согласуются с их происхождением в галактическом диске, куда они, вероятно, были выброшены в результате распада двойной системы при вспышке сверхновой или динамических процессов.

Hubrig et al. (2023c) путем анализа A-звезд типа δ Sct и γ Dor, которые на диаграмме Герцшпрунга—Рассела находятся в области магнитных Ap-звезд, хотели выяснить, существует ли связь между магнитным полем и типом пульсаций у этих объектов. Согласно теории, при некотором критическом значении магнитное поле способно подавить пульсации в p - и g -модах. Для проверки этого вывода были проведены спектрополяриметрические наблюдения высокого разрешения на PEPSI хорошо известной Ap-звезды HD 340577, у которой ранее при помощи фотометрии TESS были обнаружены пульсации типа δ Sct, и звезды с пульсациями типа γ Dor HR 8799, которая представляет собой систему с несколькими планетами и двумя околозвездными дисками. В результате этого анализа авторы нашли магнитное поле напряженностью в несколько сотен Гаусс у HD 340577, однако пульсационный характер спектроскопически подтвердить не удалось. У HR 8799 магнитное поле не было обнаружено.

Labadie-Bartz et al. (2023) провели сравнительный анализ выборки химически пекулярных звезд из обзора LAMOST с фотометрией TESS. Авторы получили кривые блеска и периоды вращения для 720 CP-звезд. Среди этой выборки были найдены четыре затменные двойные системы, где CP-звезда является одной из компонент, и 25 звезд с наличием дополнительных пульсаций. Также было обнаружено, что проэволюционировавшие звезды имеют более длительные периоды вращения, что согласуется с гипотезой о сохранении углового момента во время эволюции на ГП. Результаты этой работы значительно увеличили размер выборки CP-звезд с известными периодами вращения и выявили главных кандидатов для подробных последующих исследований.

Glagolevskij and Bychkov (2023) изучили структуру магнитного поля Ap-звезды HD 144941. По

магнитным измерениям был оценен период вращения звезды $P = 6.969$ суток. В результате моделирования авторы определили величину поверхностного поля $B_s = 11$ кГс и описали его структуру моделью центрального диполя.

4. МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ЗВЕЗД ДРУГИХ ТИПОВ

4.1. Вопросы теории

Fuller and Mathis (2023) изучали связь внутренней структуры звезды с ее поверхностным магнитным полем. Магнитное давление типично больше давления газа в звездной фотосфере, но значительно слабее, чем давление газа внутри звезды. Авторы провели расчеты магнитного воздействия на структуры молодых звезд с массами $3 M_\odot$, которые находятся в гидростатическом и тепловом равновесии, а также содержат полоидальный и тороидальный компонент реликтового дипольного магнитного поля. В результате этих расчетов была построена модель, в которой магнитные полюса оказались горячее магнитного экватора, но в зависимости от конфигурации магнитного поля возможно и более холодный магнитный полюс. Однако величины теоретических вариаций потока магнитного поля намного меньше, чем наблюдаемые у магнитных звезд. Было сделано предположение, что наблюдаемые возмущения, скорее всего, связаны с локальным эффектом, а не с вариациями болометрического потока.

Alecian (2023) изучил влияние амбиполярной диффузии на скорость диффузии металлов в атмосферах Ар-звезд. Амбиполярная диффузия активно проявляется в случае частичной ионизации водорода. Для некоторых линий металлов ее действие тоже может быть существенным. В работе были рассмотрены различные варианты атомной диффузии для разных металлов.

Schleicher et al. (2023) попытались прояснить вопрос о происхождении магнитного поля Ар/Вр-звезд. Авторы для анализа эволюции реликтового магнитного поля в процессе звездообразования и звезд до ГП сравнили результаты моделирования по трем типам: полностью конвективные модели; модели, включающие переход к лучистому излучению протозвезды; модели с полностью лучистым излучением ядра. Было показано, что для полностью конвективных моделей затухание магнитного поля за счет конвекции будет эффективным при реалистичных параметрах турбулентного сопротивления, однако маловероятно, что конвекцию можно было бы подавить с помощью достаточно сильного магнитного поля. Переход от конвективного ядра к лучистому мог бы вполне объяснить сохранение значительного количества потока, а также наличие критической

массы. В некоторых случаях взаимодействие реликтового поля с основным динамо-ядром может привести к изменениям в структуре поверхностного магнитного поля.

4.2. Магнитные поля звезд разных типов

4.2.1. Звезды до ГП

С целью поиска влияния на процессы аккреции и на магнитное поле классических T Tau звезд (CTTS) из-за наличия гравитационно взаимодействующего спутника Pouilly et al. (2023) изучили двойную систему DQ Tau, которая состоит из двух CTTS примерно равной массы, взаимодействующих между собой на разных фазах орбитального периода. Наблюдения системы проводились методами спектроскопии и спектрополяриметрии на ESPaDOnS. В результате этого анализа было обнаружено, что магнитное поле вторичного компонента больше, чем у главного, однако мелкомасштабное магнитное поле у обеих звезд одинаковое и составляет 2.5 кГс. Оба компонента этой системы являются аккреционными, с изменением основного аккретора во время орбитального движения. Кроме того, в системе наблюдается значительное увеличение скорости накопления массы в периастре и апоастре.

Potravnov et al. (2023b) провели анализ звезды LkH α 324/B, которая находится в звездообразующем комплексе LDN 988. По спектроскопии высокого разрешения авторы оценили ее физические параметры (эффективную температуру, светимость, массу и возраст). Данная звезда недавно прошла стадию активной аккреции и сейчас является звездой Ae/Ве Хербига, что подтверждается наличием плотного околозвездного диска с внутренней полостью. По результатам моделирования химическое содержание элементов LkH α 324/B характерно для магнитных Ар-звезд. Вследствие усиленной интенсивности магниточувствительных линий авторы пришли к выводу, что поверхностное магнитное поле звезды составляет около 3.5 кГс.

4.2.2. Магнитные белые карлики

Berdyugin et al. (2023) предприняли попытку прояснить вопрос о частоте встречаемости и эволюции магнитного поля проэволюционировавших белых карликов (DC) с возрастом более 5 млрд лет. Для этого были проведены наблюдения в широкополосной поляриметрии, и путем исследования круговой поляризации в континууме авторы обнаружили у пяти из 23 исследованных белых карликов магнитное поле, чем удвоили имеющуюся статистику.

Landstreet et al. (2023) исследовали интересный объект WD 0810–353, для которого по данным

Gaia о расстоянии, собственном движении и лучевой скорости было предсказано, что он пройдет в пределах 1 пк от Солнечной системы примерно через 30 тысяч лет. Более ранние исследования показали, что WD 0810–353 образовался после взрыва SN Ia и обладает магнитным полем величиной порядка 30 МГс. Авторы получили новые поляризованные спектры белого карлика в области H α , по которым нашли, что на его видимой поверхности заметны две области с разной напряженностью поля и противоположной полярностью. Полученные спектры WD 0810–353 не изменялись в течение четырех лет, что характерно для долгого периода вращения (не менее нескольких десятилетий) или симметрии магнитной оси относительно оси вращения. Было найдено новое значение лучевой скорости, которое намного отличается от предыдущих оценок по спектроскопии Gaia. Поэтому, принимая во внимание новые данные, авторы пришли к выводу, что WD 0810–353 является звездным остатком эволюции в окрестности Солнца с очень сильным и сложным магнитным полем, а также предположили, что близкого сближения между Солнечной системой и WD 0810–353 не будет.

С целью поиска новых белых карликов с экстремально сильным магнитным полем (MWDs) Aitov and Valyavin (2023) разработали методику и провели измерения круговой поляризации в непрерывных спектрах объектов, которые были получены на мультимодальном фотометре-поляриметре (ММРР), установленном на Цейсс-1000 САО РАН. Методика и стандарты тестировались на хорошо известных белых карликах: GRW +70 8247 и WD 1312+098. После анализа и сравнения с предыдущими результатами было показано, что величина и структура магнитного поля этих белых карликов не изменилась на шкале времени десятков–сотен лет.

4.2.3. Активные холодные звезды

Metcalf et al. (2023) рассмотрели вопрос о магнитном торможении карликовых звезд. Авторы получили прямые ограничения о наличии магнитного торможения для звезд холоднее Солнца. В качестве объектов для анализа были выбраны звезды одинакового спектрального класса — G8: старый карлик τ Cet и более молодой 61 UMa. Выполнен анализ ранее опубликованной ZDI-карты 61 UMa, и проведено новое Доплер–Зеемановское картирование поверхности τ Cet. Для расчета скорости потери массы были использованы архивные рентгеновские наблюдения и результаты измерения Lu α . Авторы обнаружили, что скорость потери углового момента уменьшается в 300 раз в интервале возраста 1.4–9.0 млрд лет, что существенно превышает теоретические значения.

Kochukhov et al. (2023b) адаптировали метод Доплер–Зеемановского картирования, которым изучили распределение мелкомасштабного магнитного поля и температуры по поверхности активной холодной звезды LQ Hya. Для обеих эпох спектрополяриметрических наблюдений этой звезды авторы обнаружили равномерное распределение напряженности поля и существование широтной тенденции его увеличения от низких широт до полюсов вращения. Наблюдаемое распределение мелкомасштабного поля не демонстрирует четкой корреляции с расположением температурных пятен или глобальной структурой магнитного поля.

Nahlin et al. (2023) исследовали мелкомасштабное магнитное поле 16 солнечноподобных звезд, воспользовавшись наблюдениями, полученными на спектрополяриметре CRIFRES+ в ближнем ИК-диапазоне. Для измерения поля авторы использовали шесть магниточувствительных линий Fe I. В результате анализа было обнаружено, что средняя величина поверхностного магнитного поля колеблется от 100 Гс до 400 Гс, а его типичная напряженность в магнитной области составляет от 1 кГс до 2 кГс. Мелкомасштабное поле коррелирует с крупномасштабным и на порядок сильнее его. Величина мелкомасштабного поля, полученная в ИК-области, в 2–3 раза сильнее, чем в оптической. Это расхождение нельзя объяснить недостаточной точностью определения параметров звезд. Поэтому следует соблюдать осторожность при сравнении результатов, полученных на разных длинах волн.

С целью отслеживания эволюции крупномасштабного магнитного поля активного M-карлика AD Leo Bellotti et al. (2023) провели спектрополяриметрические наблюдения на SPIRou в ближней ИК-области в период 2019–2020 гг., а также проанализировали архивные оптические данные, полученные на ESPaDOnS и Narval в период 2006–2019 гг. В результате анализа авторы обнаружили доказательства долговременной эволюции магнитного поля, которое характеризуется уменьшением осесимметрии от 99% до 60%, сопровождается ослаблением продольного поля от –50 Гс до –300 Гс, а также увеличением магнитного потока от 2.8 кГс до 3.6 кГс. Таким образом, крупномасштабное магнитное поле AD Leo проявило первые признаки изменения полярности в конце 2020 года, в то время как его топология оставалась преимущественно полоидальной и дипольной в течение 14 лет. Полученные результаты доказывают, что маломассивные M-карлики с преимущественно дипольным магнитным полем также подвержены магнитным циклам.

Для анализа крупномасштабного и мелкомасштабного магнитных полей Donati et al. (2023) провели спектрополяриметрические наблюдения в ближней ИК-области молодого M-карлика

AU Mic на телескопе SPIRou в период 2019–2022 гг. В результате этого анализа мелкомасштабное магнитное поле, оцененное по уширению спектральных линий, достигает величины 2.6 кГс, а крупномасштабное поле, полученное с помощью Доплер–Зеемановского картирования, в основном полоидальное и осесимметричное, со средней напряженностью около 0.6 кГс. Также авторы обнаружили, что скорость дифференциального вращения на 30% меньше, чем у Солнца.

4.2.4. Радиоизлучение магнитных звезд

Biswas et al. (2023), Das et al. (2023) открыли взаимодействие магнитосфер в горячей двойной ϵ Lupi, в которой оба компонента обладают сравнительно сильными, но разнонаправленными магнитными полями. Biswas et al. (2023) обнаружили сильное переменное радиоизлучение по наблюдениям на радиотелескопах uGMRT и MeerKAT, а Das et al. (2023) — по рентгеновским наблюдениям с NICER. Кривая блеска ϵ Lupi показывает уникальные характеристики, включая резкие высокоамплитудные радиоимпульсы и избыточное рентгеновское излучение, которые повторяются с орбитальным периодом с наибольшим усилением вблизи периастра. Характеристики кривой блеска указывают на то, что ϵ Lupi — первая известная звезда большой массы со взаимодействующей магнитосферой. Сравнивая поведение ϵ Lupi с более холодными магнитными двойными системами, Das et al. (2023) предположили, что повышенный поток рентгеновского излучения в периастре, вероятно, является общей характеристикой взаимодействующих магнитосфер, независимо от спектральных типов составляющих их звезд.

Leto et al. (2022) обнаружили радиоэмиссию от кратной звездной системы KQ Vel, которая состоит из магнитной Ap-звезды с медленным вращением и спутника неизвестной природы. По наблюдениям на радиоинтерферометре ATCA авторы зафиксировали радиоизлучение на трех длинах волн: 15 мм, 4 см и 16 см. Вследствие низкой радиосветимости и малой скорости вращения маловероятно, что радиоизлучение исходит от Ap-звезды. Было сделано предположение, что, возможно, спутник звезды представляет собой тесную двойную типа RS CVn по крайней мере с одной магнитоактивной звездой позднего типа.

С целью анализа неустойчивых явлений в стабильных магнитосферах Polisensky et al. (2023) провели поиск временных радиовспышек в областях расположения 761 горячей магнитной звезды, используя первые две эпохи радиообзора звездного неба VLITE. В результате авторы с высокой степенью достоверности зафиксировали подобные вспышки у трех источников. Однако по анализу параметров им не удалось однозначно связать эти

проявления со звездами, но полученные данные согласуются с гипотезой о том, что вспышки происходят в их магнитосферах.

4.3. Другие объекты

Järvinen et al. (2023) изучили магнитную, спектральную и фотометрическую переменность звезды типа Вольфа–Райе WR 55, у которой ранее впервые было обнаружено магнитное поле величины около нескольких сотен Гаусс. Всего известно только две Вольфа–Райе (WR) звезды, у которых было найдено магнитное поле. Авторы провели новые наблюдения на спектрополяриметре FORS2, по которым удалось зафиксировать спектральную переменность и изменение магнитного поля с периодом в 11.9 часов. Однако периодограммы фотометрических наблюдений TESS и ASAS-SN не показали наличия значимых частот.

Shenar et al. (2023) изучили вопрос происхождения сильного магнитного поля у магнетаров. Авторы пронаблюдали двойную систему HD 45166 с помощью спектрополяриметрии и повторно проанализировали ее орбиту, используя архивные данные. Они обнаружили, что один из компонентов системы является WR-звездой с массой $2 M_{\odot}$ и магнитным полем в 43 кГс. Авторы рассчитали звездную эволюцию объекта и предположили, что этот компонент взорвется как сверхновая и вследствие сильного магнитного поля после взрыва останется магнетарный остаток. Также была высказана гипотеза о том, что намагниченная WR-звезда образовалась в результате слияния двух гелиевых звезд меньшей массой.

Магнитное поле может сильно влиять на эволюцию массивных магнитных звезд вследствие уменьшения скорости потери массы, наличия магнитного торможения и эффективного переноса углового момента, что необходимо учитывать при моделировании. С целью количественной оценки этих проявлений для звезд ГП Keszthelyi et al. (2022) рассчитали программным комплексом MESA сетку моделей звездной структуры, эволюции и изохрон. Сетка имеет довольно широкие диапазоны распределения масс ($3\text{--}60 M_{\odot}$), напряженности поверхностного экваториального магнитного поля (0–50 кГс) и металличности (от солнечной до характерной величины в Магеллановых облаках).

Berry et al. (2023) изучили магнитные и вращательные свойства массивных B-звезд с центробежной магнитосферой, используя результаты проекта MOBSTER и высокоточную космическую фотометрию звезд с сильной H α -эмиссией. Для оценки этих свойств были использованы кривые блеска из модели твердотельного вращения магнитосферы (Rigidly Rotating Magnetosphere model).

Путем сравнения между собой полученных с помощью фотометрии и спектрополяриметрии значений авторы показали, что угол наклона магнитной оси β , угол наклона оси наблюдателя i и критическая доля вращения W (critical rotation fraction) могут быть приблизительно восстановлены для трех из четырех изученных в работе звезд. Однако существуют большие расхождения между теоретическими и наблюдаемыми значениями оптической толщины на кеплеровском радиусе t_K .

Shen et al. (2023) представили первые результаты анализа многоцветной фотометрии HD 345439 — магнитной ранней В-звезды с большой скоростью вращения. По кривой блеска авторы оценили период вращения звезды $P = 0^d.7699 \pm 0^d.0014$. Форма кривой описывается асимметричной двойной S-волной, которая возникает из-за наличия центробежной магнитосферы. Используя модель твердотельного вращения магнитосферы, авторы оценили верхний предел наклона магнитной оси и оси вращения как $\beta + i \approx 105^\circ$, а также определили физические параметры звезды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, был проведен обзор 61 работы, посвященных исследованиям магнетизма звезд разных спектральных классов: 33 статьи касаются химически пекулярных звезд, 19 — магнитных звезд других типов, шесть работ описывают новые приборы и методы, а также три статьи посвящены теоретическим исследованиям.

В журнале *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* опубликовано 18 статей, 10 — в *Astronomy and Astrophysics*, 5 — в *Astrophysical Journal*, 17 — в *Astrophysical Bulletin* и 11 — в других изданиях. Основной массив наблюдательных данных был получен на ОЗСП БТА, спектрополяриметрах FORS1/2, CRIRES VLT и ESPaDOnS CFHT, PEPSI LBT. Описываются спектрографы и другие приборы для будущих больших телескопов. Вступил в строй ИК-спектрограф CRIRES+.

По сравнению с предыдущими годами увеличилось количество публикаций, основанных на использовании астрометрических данных Gaia, высокоточной фотометрии миссий TESS и Kepler, а также на спектроскопии низкого разрешения LAMOST. В 2023 г. было меньше данных, полученных по спектрам высокого разрешения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит А. В. Моисееву за помощь в оформлении и подготовке статьи к печати. В этом исследовании использовалась система астрофизических данных NASA's Astrophysics Data System (ADS).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-262(13.МНПМУ.21.0003).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. N. Aitov and G. G. Valyavin, *INASAN Science Reports* **8** (2), 51 (2023). DOI:10.51194/INASAN.2023.8.2.002
2. G. Alecian, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **519** (4), 5913 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad034
3. S. Bellotti, J. Morin, L. T. Lehmann, et al., *Astron. and Astrophys.* **676**, id. A56 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202346845
4. A. V. Berdyugin, V. Pirola, S. Bagnulo, et al., *Astron. and Astrophys.* **670**, id. A2 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202245149
5. I. D. Berry, M. E. Shultz, S. P. Owocki, and A. ud-Doula, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **523** (4), 6371 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad1726
6. A. Biswas, B. Das, P. Chandra, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **523** (4), 5155 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad1756
7. S. D. Chojnowski, S. Hubrig, J. Labadie-Bartz, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **516** (2), 2812 (2022). DOI:10.1093/mnras/stac2396
8. S. D. Chojnowski, S. Hubrig, D. L. Nidever, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **522** (4), 5931 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad1355
9. B. Das, V. Petit, Y. Nazé, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **522** (4), 5805 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad1276
10. J. F. Donati, P. I. Cristofari, B. Finociety, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **525** (1), 455 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad1193
11. R. J. Dorn, P. Bristow, J. V. Smoker, et al., *Astron. and Astrophys.* **671**, id. A24 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202245217
12. N. Faltová, M. Prišegen, K. Bernhard, et al., *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A215 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202245464
13. L. Fréour, C. Neiner, J. D. Landstreet, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **520** (3), 3201 (2023). DOI:10.1093/mnras/stac2104
14. J. Fuller and S. Mathis, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **520** (4), 5573 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad475
15. Y. V. Glagolevskij and V. D. Bychkov, *Astrophysical Bulletin* **78** (2), 165 (2023). DOI:10.1134/S1990341323020025

16. A. Hahlin, O. Kochukhov, A. D. Rains, et al., *Astron. and Astrophys.* **675**, id. A91 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202346314
17. C. R. Hayes, K. A. Venn, F. Waller, et al., *Astrophys. J.* **955** (1), id. 17 (2023). DOI:10.3847/1538-4357/acebc0
18. S. Hubrig, S. P. Järvinen, I. Ilyin, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **521** (4), 6228 (2023b). DOI:10.1093/mnras/stad730
19. S. Hubrig, M. Schöller, N. Kharchenko, et al., in *Workshop on Two in a Million—The Interplay Between Binaries and Star Clusters, ESO Garching, Germany, 2023* (online at <https://zenodo.org/records/8380098>), id. 24 (2023c). DOI:10.5281/zenodo.8380098
20. S. Hubrig, S. P. Järvinen, J. D. Alvarado-Gómez, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **526** (1), L83 (2023a). DOI:10.1093/mnras/sl4d116
21. S. P. Järvinen, S. Hubrig, R. Jayaraman, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **524** (1), L21 (2023). DOI:10.1093/mnras/sl4d068
22. Z. Keszthelyi, A. de Koter, Y. Götberg, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **517** (2), 2028 (2022). DOI:10.1093/mnras/stac2598
23. O. Kochukhov, H. Gürsoytrak Mutlay, A. M. Amarsi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **521** (3), 3480 (2023a). DOI:10.1093/mnras/stad720
24. O. Kochukhov, T. Hackman, and J. J. Lehtinen, *Astron. and Astrophys.* **680**, id. L17 (2023b). DOI:10.1051/0004-6361/202347930
25. J. Labadie-Bartz, S. Hümmerich, K. Bernhard, et al., *Astron. and Astrophys.* **676**, id. A55 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202346657
26. J. D. Landstreet, E. Villaver, and S. Bagnulo, *Astrophys. J.* **952** (2), id. 129 (2023). DOI:10.3847/1538-4357/acdac8
27. P. Leto, L. M. Oskinova, C. S. Buemi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **515** (4), 5523 (2022). DOI:10.1093/mnras/stac2163
28. G. Mathys, V. Khalack, O. Kobzar, et al., *Astron. and Astrophys.* **670**, id. A72 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202245568
29. T. S. Metcalfe, K. G. Strassmeier, I. V. Ilyin, et al., *Astrophys. J.* **948** (1), id. L6 (2023). DOI:10.3847/2041-8213/acce38
30. G. S. Mitiani, D. D. Makarov, V. N. Aitov, and G. G. Valyavin, *Astrophysical Bulletin* **78** (1), 100 (2023). DOI:10.1134/S1990341323010066
31. V. Petit, G. A. Wade, F. R. N. Schneider, et al., *VizieR Online Data Catalog: MiMeS Magnetic properties of O-type stars (Petit+, 2019); J/MNRAS/489/5669* (2023).
32. N. Piskunov, in *Proc. Conf. on Spectral Fidelity, Florence, Italy* (online at <https://zenodo.org/records/8325567>), id. 21 (2023). DOI:10.5281/zenodo.8325567
33. E. Polisensky, B. Das, W. Peters, et al., *Astrophys. J.* **958** (2), id. 152 (2023). DOI:10.3847/1538-4357/ad0295
34. I. Potravnov, L. Mashonkina, and T. Ryabchikova, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **520** (1), 1296 (2023a). DOI:10.1093/mnras/stad193
35. I. Potravnov, T. Ryabchikova, S. Artemenko, and M. Eiselevich, *Universe* **9** (5), id. 210 (2023b). DOI:10.3390/universe9050210
36. K. Pouilly, O. Kochukhov, Á. Kóspál, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **518** (4), 5072 (2023). DOI:10.1093/mnras/stac3322
37. A. M. Romanovskaya, T. A. Ryabchikova, Y. V. Pakhomov, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **526** (3), 3386 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad2862
38. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **70** (2), 191 (2015). DOI:10.1134/S1990341315020054
39. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **71** (3), 314 (2016). DOI:10.1134/S1990341316030068
40. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **72** (3), 286 (2017). DOI:10.1134/S199034131703018X
41. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **73** (4), 437 (2018). DOI:10.1134/S1990341318040065
42. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **74** (4), 437 (2019). DOI:10.1134/S1990341319040102
43. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **75** (4), 447 (2020). DOI:10.1134/S1990341320040148
44. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **76** (4), 498 (2021). DOI:10.1134/S1990341321040118
45. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **77** (4), 437 (2022). DOI:10.1134/S1990341322040095
46. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **78** (4), 594 (2023). DOI:10.1134/S19903413230700244
47. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, I. A. Yakunin, et al., *INASAN Science Reports* **8** (2), 93 (2023e). DOI:10.51194/INASAN.2023.8.2.009
48. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, I. A. Yakunin, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (1), 36 (2023d). DOI:10.1134/S1990341323010078
49. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, I. A. Yakunin, and V. N. Aitov, *Astrophysical Bulletin* **78** (2), 152 (2023c). DOI:10.1134/S1990341323020062
50. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, E. A. Semenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (4), 567 (2023b). DOI:10.1134/S19903413230700207
51. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, D. O. Kudryavtsev, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (1), 49 (2023a). DOI:10.1134/S199034132301008X
52. A. Rustem, G.-L. Lü, J.-Z. Liu, et al., *Research in Astron. and Astrophys.* **23** (9), id. 095024 (2023). DOI:10.1088/1674-4527/ace9b0
53. D. R. G. Schleicher, J. P. Hidalgo, and D. Galli, *Astron. and Astrophys.* **678**, id. A204 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202346809
54. M. Schöller, S. Hubrig, S. Järvinen, and I. Ilyin, in *Workshop on Two in a Million—The Interplay Between Binaries and Star Clusters, ESO Garching, Germany, 2023* (online at <https://zenodo.org/records/8380086>), id. 45 (2023). DOI:10.5281/zenodo.8380086

55. P. A. Scowen, K. Gayley, R. Ignace, et al., *Astrophys. and Space Sci.* **367** (12), article id. 121 (2022). DOI:10.1007/s10509-022-04107-9
56. D.-X. Shen, J.-Z. Liu, C.-H. Zhu, et al., *Research in Astron. and Astrophys.* **23** (1), 015002 (2023). DOI:10.1088/1674-4527/ac9f07
57. T. Shenar, G. A. Wade, P. Marchant, et al., *Science* **381** (6659), 761 (2023). DOI:10.1126/science.ade3293
58. F. Shi, H. Zhang, J. Fu, et al., *Astrophys. J.* **943** (2), id. 147 (2023). DOI:10.3847/1538-4357/aca89e
59. A. Wehrhahn, N. Piskunov, and T. Ryabchikova, *Astron. and Astrophys.* **671**, id. A171 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202244482
60. O. Y. Yakovlev, A. F. Valeev, G. G. Valyavin, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (1), 79 (2023). DOI:10.1134/S1990341323010108
61. I. A. Yakunin, E. A. Semenko, I. I. Romanyuk, et al., *Astrophysical Bulletin* **78** (2), 141 (2023). DOI:10.1134/S1990341323020128

Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars. X. Main Results Obtained in 2023 and Analysis of Immediate Prospects

I. I. Romanyuk¹

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

We review 61 papers devoted to stellar magnetism and published in 2023. The main interest of researchers is focused on the search for new magnetic stars, monitoring the magnetic fields of CP stars and other types of objects. Interest in the study of radio and X-ray emission from magnetic stars has increased. Most new data are based on the Gaia astrometry, TESS, and Kepler photometry, and LAMOST low-resolution spectroscopy.

Keywords: *stars: magnetic field—stars: chemically peculiar, active cool and white dwarfs*