

УДК 52-14:524.35-337

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ И РОДСТВЕННЫХ ИМ ЗВЕЗД. XI. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2024 ГОДА И АНАЛИЗ БЛИЖАЙШИХ ПЕРСПЕКТИВ

© 2025 И. И. Романюк^{1*}, А. В. Моисеева¹¹Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 23 июня 2025 года; после доработки 5 июля 2025 года; принята к публикации 7 июля 2025 года

В статье представлен обзор 67 научных работ, посвященных изучению звездного магнетизма и смежных тем, опубликованных в 2024 году. Основной интерес исследователей сосредоточен на поиске новых магнитных звезд, мониторинге магнитных полей CP-звезд и объектов других типов. Возрос интерес к исследованию излучения магнитных звезд в радио- и рентгеновском диапазонах. Основные новые данные собраны с помощью астрометрии Gaia, фотометрии TESS и Kepler, а также спектроскопии низкого разрешения LAMOST. Обсуждаются первые результаты, полученные на новых спектрографах SPIRou и CRIRES+.

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

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящей работой продолжается серия наших статей (Romanuk, 2015–2024), в которых публикуются результаты исследований магнитного поля химически пекулярных (CP) и родственных им звезд. Представляемая статья посвящена описанию результатов, опубликованных в 2024 году. В работе сохраняется традиционный порядок разделов: описание инструментов, новых программ и методов анализа (раздел 2); обсуждение наблюдений и результатов исследования магнитных CP-звезд (раздел 3); анализ результатов изучения магнитных звезд других типов (раздел 4).

2. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

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

2.1. Новые телескопы и навесное оборудование

Опубликована большая серия работ с описанием спектрографа ANDES, который планируется

установить на 39-м телескоп ELT. Общее детальное описание спектрографа приведено в работе Marconi et al. (2024). ANDES состоит из трех оптоволоконных спектрографов (*UBV*, *RIZ*, *YJH*) со спектральным разрешением порядка 100 000 и покрывающим область спектра от 0.4 мкм до 1.8 мкм с возможностью расширения области от 0.35 мкм до 2.4 мкм в будущем. Главные научные задачи, которые планируется решать при помощи данного прибора, заключаются в поисках звезд первого поколения; биомаркеров в атмосферах экзопланет, а также в изучении стабильности фундаментальных констант и прямом обнаружении космического ускорения. Проект ANDES реализуется международной командой из почти 300 ученых и инженеров. В нее входят представители 35 институтов из 13 стран.

Weber et al. (2024) представили конструкцию *UBV*-модуля для спектрографа ANDES. Это оптоволоконный спектрограф высокого разрешения, который будет работать в коротковолновой области спектра. Его планируется установить на платформе ELT-Nasmyth. Для обеспечения высокой стабильности прибора (поддержание постоянной температуры оптической цепи в условиях окружающей среды и постоянного давления в вакууме) авторы планируют использовать термозащитный кожух. Щель спектрографа состоит из 66 пучков оптоволокон, которые одновременно

*E-mail: roman@sao.ru

фиксируют наблюдения объекта, фона неба и света калибровочной лампы.

Genolet et al. (2024) описали общую конструкцию блока детектора для модулей *UBV* и *RIZ* спектрографа *ANDES*. В его основе лежит ПЗС-детектор размером 9000×9000 элементов. Этот блок заключен в дифференциальный вакуумный криостат, который поддерживает детектор в специальной камере. Криоохладитель обеспечивает охлаждение детектора, что минимизирует темновой шум. Конструкция блока учитывает требования к стабильности температуры, механическим характеристикам и давлению.

В статье Dubrovich et al. (2024) описаны научные цели и характеристики объектов, которые будут изучаться в рамках проекта «Метрон». Этот радиоинтерферометр нового поколения объединит массивы дипольных антенн метрового диапазона, установленных на Земле, в космосе, на обратной стороне Луны или с применением комбинированной конфигурации. Основные научные задачи включают исследование космологической эпохи «темных веков» для понимания происхождения первых звезд, галактик и черных дыр, а также поиск новых космологических объектов и явлений. Благодаря предполагаемому беспрецедентному угловому разрешению, проект обещает достичь научных результатов мирового уровня.

2.2. Методы анализа и обработки данных

Исследования атмосфер экзопланет становятся все более точными и детализированными. Klein et al. (2024) создали консорциум *ATMOSPHERIX*, ориентированный на изучение атмосферных характеристик экзопланет с использованием методов наземной астрономии и спектроскопии высокого разрешения. Авторы описывают разработанный ими анализатор данных (пайплайн, pipeline) и демонстрируют его эффективность на примере синтетических наблюдений. В качестве практической проверки методики использовались реальные спектроскопические данные, полученные на *SPIRou* для нетранзитной системы *Gl 15A*. Пайплайн надежно воспроизвел сигнал от планеты и соответствующие атмосферные характеристики. Кроме того, в работе проанализированы данные транзита планеты *HD 189733b*, также полученные с помощью *SPIRou*. Результаты полностью совпали с ранее опубликованными данными, что подтверждает достоверность и точность разработанного подхода.

В дополнение к предыдущим исследованиям, Debras et al. (2024) проанализировали искажения и вырождения, возникающие при определении характеристик атмосфер экзопланет с помощью

наземной спектроскопии. Они изучили хорошо известный *M*-карлик *Gl 15A* и рассмотрели различные эффекты, вызывающие неопределенности:

- 1) неточности масс и радиусов;
- 2) неизотермические вертикальные профили линий;
- 3) ошибки отождествления.

Этот анализ помог глубже понять результаты спектроскопии пропускания и их ограничения. Это важно для подготовки к анализу фактических данных, полученных на *SPIRou*.

В исследовании Hood et al. (2024) проведен анализ отношения *C/O* и молекулярного состава атмосферы на лимбе экзопланеты *WASP-76b* с использованием спектров высокого разрешения ($R \approx 70\,000$), полученных с помощью инструмента *SPIRou*. В спектрах надежно идентифицированы сигнатуры водяного пара и *CO* с доплеровским сдвигом около 6 км с^{-1} , что согласуется с результатами предыдущих наблюдений. Кроме того, обнаружены признаки присутствия ряда других молекул, указывающих на сложную молекулярную динамику в атмосфере планеты. Для обработки данных применялся пайплайн, разработанный Klein et al. (2024).

3. ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫЕ ЗВЕЗДЫ

3.1. Вращение, пульсации, химический состав

Hümmerich et al. (2024) провели исследование *SP*-звезд с крайне медленным вращением, период которых составлял более 50 суток. Авторы обнаружили 70 новых объектов данного типа, причем для большинства из них периоды вращения лежат в диапазоне 50–200 суток. Наиболее медленно вращающаяся звезда в выборке имеет период $P = 2550$ суток. За редким исключением, все звезды сосредоточены вблизи главной последовательности (ГП) и имеют характерный возраст порядка 150 млрд лет.

Mathys et al. (2024a) продолжают изучать сверхмедленно вращающиеся звезды (super-slowly rotating *Ap*-stars, *ssrAp*). Ранее они выбрали эти объекты на основе анализа фотометрических данных, полученных с помощью *TESS* (циклы 1 и 2). При анализе циклов 3 и 4 авторы выявили две основные проблемы, которые могут привести к ошибочной идентификации:

- 1) значительная часть *Ap*-звезд в существующих списках имеет ошибочную или сомнительную спектральную классификацию;
- 2) обработка данных *TESS* может привести к удалению части сигнала для звезд с умеренно долгими периодами (от 20 до 50 дней).

В результате, после критической оценки этих эффектов, ими были открыты новые 25 ssrAp- и восемь звезд с умеренно долгими периодами вращения. Сравнив результаты с предыдущим исследованием, авторы подтвердили на более значимом уровне, что слабомагнитные Ap-звезды реже демонстрируют сверхмедленное вращение по сравнению с сильномагнитными. Кроме того, у ssrAp-звезд гораздо чаще наблюдаются быстрые колебания.

Для решения проблемы ошибочной классификации ssrAp-звезд Mathys et al. (2024b) провели их наблюдения с помощью спектроскопии высокого разрешения. Выяснилось, что из 27 ssrAp-кандидатов 18 оказались типичными Ap-звездами. Однако для одной из них длительный период вращения обусловлен геометрией, так как преимущественно наблюдается ее полюс вращения. Остальные 17 объектов имеют периоды вращения от умеренных до длительных. Для оставшихся девяти звезд классификация оказалась неверной. Результаты измерения магнитного поля и моделирования его геометрии подтвердили предварительные выводы предыдущих исследований.

Bauer-Fasching et al. (2024) представили результаты поиска новых переменных Ap-звезд в рамках обзора Zwicky Transient Facility. Всего было проанализировано 1314 кандидатов с периодически изменяющимися кривыми блеска. В результате авторами идентифицировано 1232 новых переменных объекта. Для каждого из них определены параметры: расстояние, масса, относительный возраст на ГП и другие астрофизические характеристики. Особый интерес представляют 38 звезд со значениями экваториальной скорости вращения более 150 км с^{-1} . Это ставит под сомнение существующие теории, которые не могут объяснить появление таких быстро вращающихся Ap-звезд.

Potravnov et al. (2024a) исследовали устойчивость химических структур на поверхности быстро вращающейся Ap-звезды 56 Agi. Согласно реликтовой теории, такие структуры должны сохраняться постоянными на протяжении длительного времени. Однако известно о небольшой группе Ap-звезд, демонстрирующих изменения периода вращения, природа которых остается не до конца понятной. Звезда 56 Agi как раз относится к числу таких объектов. С помощью доплеровского картирования авторы установили, что кремний на поверхности звезды имеет сложное распределение и коррелирует с модуляцией магнитного поля. Сравнение полученных карт с таковыми за 1986 г. и 2014 г. показало высокую степень стабильности химических пятен, что свидетельствует о квази-жестком вращении структуры за этот интервал времени. В работе также обсуждаются возможные

альтернативные механизмы, способные объяснить наблюдаемую переменность периода.

Potravnov et al. (2024b) представили результаты спектроскопического анализа CP-звезды HD 152564. Наблюдения были получены на оптоволоконном спектрографе Южноафриканского большого телескопа (SALT) с разрешением $R = 37\,000$. Авторы оценили фундаментальные параметры объекта: $T_{\text{eff}} = 11\,950 \pm 200 \text{ K}$, $\lg g = 3.6 \pm 0.2$. Анализ химического состава выявил умеренный дефицит легких элементов и избыток тяжелых металлов примерно на два порядка. Доплер–Зеемановское картирование (Zeeman–Doppler Imaging, ZDI) поверхности звезды показало, что гелий, кислород, магний, кремний и железо распределены в виде экваториальных пятен и колец. Фотометрический максимум кривой блеска совпал с видимостью двух пятен с наибольшим избытком кремния. Содержание железа и кремния, определенное по разным стадиям ионизации, свидетельствует о вертикальной стратификации этих элементов в атмосфере звезды.

Для MX Tra — Ap-звезды с аномальными линиями кремния Pakhomov et al. (2024) промоделировали кривую блеска, которая была построена на основе фотометрических данных TESS. Используя доплеровские карты распределения кремния, железа, гелия и хрома на поверхности звезды, авторы построили теоретическую модель кривой блеска, которая позволила оценить как влияние стратификации кремния и железа на амплитуду фотометрических колебаний, так и зависимость амплитуды и фазы максимума блеска от длины волны. Это выявило характерное для кремниевых Ap-звезд поведение: увеличение амплитуды и блеска в противофазе в дальнем ультрафиолетовом диапазоне.

Potravnov and Ryabchikova (2024) методом доплеровского картирования оценили горизонтальное распределение хрома по поверхности звезды HD 152564. Авторы выявили, что область повышенной концентрации этого элемента имеет форму кольца, перпендикулярного экватору вращения, которое оказывает влияние на наблюдаемую кривую блеска. Согласно предсказаниям современных трехмерных диффузионных моделей, узкие кольцеобразные структуры должны возникать вдоль магнитного экватора. На примере этой звезды авторы показали, что даже в атмосфере одной звезды горизонтальное распределение элементов со схожим спектром поглощения, например Fe и Cr, существенно различно.

Kueß et al. (2024) с целью поиска механизмов возникновения и эволюции химических аномалий изучили 45 CP-звезд, находящихся на стадии эволюции до ГП (pre-main sequence stars, PMS).

Примерно 70% выбранных объектов указывают на CP-природу или являются вероятными представителями этого класса. Для девяти из них было выявлено наличие устойчивого магнитного поля. Полученные результаты свидетельствуют о том, что химическая пекулярность формируется уже на ранних стадиях звездной эволюции и обусловлена присутствием сильного магнитного поля.

Kiker et al. (2024) определили, что CP-звезда HD 34382 может относиться к редкому классу быстро вращающихся магнитных B-звезд. Фотометрия TESS показывает гладкую синусоидальную фотометрическую кривую с периодом 2.46 суток. Звезда напоминает известную Bp-звезду σ Ori, но отличается большей однородностью и более длительным периодом вращения.

Zhong et al. (2024) изучали быстропульсирующие γ Ap-звезды TIC 96315731, TIC 72392575 и TIC 318007796, фотометрические наблюдения для которых получены с помощью спутника TESS. Авторы оценили периоды вращения и частоты пульсаций. В рамках модели наклонного пульсатора Zhong et al. (2024) рассчитали геометрию пульсационных мод (углы наклона оси вращения i и магнитной оси β). Было установлено, что наблюдаемые моды пульсаций соответствуют искаженной дипольной моде у TIC 96315731 и TIC 318007796, а также искаженной квадрупольной моде у TIC 72392575.

Kallinger et al. (2024) исследовали ярчайшую пульсирующую магнитную CP-звезду α Cir. Авторы изучили эволюционные особенности объекта, используя высокоточные фотометрические и спектральные данные. Новые наблюдения указывают на то, что α Cir является тройной системой. Авторы уточнили период вращения главного компонента α Cir A: $P = 4.4792890 \pm 0.0000018$ суток. В дальнейшем Kallinger et al. (2024) рекомендуют провести сейсмическое моделирование с учетом влияния магнитного поля на пульсации, а также получить дополнительные космические фотометрические наблюдения и спектры высокого разрешения с увеличенной временной базой для подтверждения статуса тройной системы.

Heinze et al. (2023) изучили редкий класс переменных звезд — UCBH, для которых на фотометрической кривой блеска наблюдается широкий минимум и узкий симметричный максимум с типичным периодом 1–10 суток и амплитудой $0^m.05$ – $0^m.20$. Авторы провели спектроскопическое исследование 14 таких объектов. Результаты анализа показали, что десять из них являются Ap/Bp-звездами. Доминирование этого типа среди UCBH-класса говорит о том, что одиночные яркие пятна с достаточно большим размером и контрастом формируются у них легче, чем у других звезд. Вероятно, такие

UCBH-звезды имеют специфическую топологию магнитного поля, что делает их перспективными объектами для дальнейшего изучения методом ZDI.

Sarkar et al. (2024) выполнили астросейсмический анализ Am-звезды HD 118660 с пульсациями типа δ Sct. По фотометрическим данным TESS авторы нашли четыре радиальные и пять дипольных мод пульсаций, а также отметили, что значения обертонов радиальной моды являются довольно высокими для звезд такого типа. Полученное значение экваториальной скорости вращения звезды, рассчитанное на основе сейсмического радиуса и частоты вращения, хорошо согласуется с ранее опубликованными данными.

3.2. Магнитные поля

Semenko et al. (2024) провели детальное исследование HD 34736 — магнитной SB2-звезды с быстро вращающимися химически пекулярными B-компонентами. Найдены орбитальный период $P_{\text{orb}} = 83^d.219$ и эксцентриситет $e = 0.8103$. Эффективная температура главного компонента $T_{\text{eff}} = 13\,000 \pm 500$ K и проекция скорости вращения $v_e \sin i = 75 \pm 3$ км с $^{-1}$; вторичного компонента $T_{\text{eff}} = 11\,500$ K и $v_e \sin i = 110$ – 180 км с $^{-1}$. Продольный компонент поля B_e у HD 34736A меняется в пределах от -6 кГс до $+5$ кГс. У вторичного компонента HD 34736B найдено слабое магнитное поле.

Romanyuk et al. (2024a) продолжили ежегодную публикацию результатов измерения магнитного поля CP-звезд, наблюдения которых проводились на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа CAO РАН в 2016 г. Всего было получено 108 пар спектров циркулярно-поляризованного излучения для 64 звезд. Для пяти объектов (HD 9050, HD 31592, HD 82093, HD 142502, HD 190068) магнитное поле было обнаружено впервые. Для всех звезд выборки оценены физические параметры (T_{eff} , $\lg g$, $v_e \sin i$) и лучевая скорость V_r .

Romanyuk et al. (2024b) выполнили обзор магнитного поля Ap/Bp-звезд в ассоциации Орион OB1 и четырех скоплениях умеренного возраста: α Per, Плеяды, NGC 7092 и IC 4756. Они нашли свидетельства резкого падения доли и величины магнитного поля CP-звезд относительно нормальных звезд тех же спектральных классов. Найденные зависимости могут служить подтверждением реликтовой природы крупномасштабного магнитного поля звезд. Выводы авторов основаны на результатах измерения более 800 спектров, полученных в период с 2013 г. по 2023 г. на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа БТА.

Shi et al. (2024) исследовали магнитное поле и фундаментальные параметры гоАр-звезды KIC 10685175, используя как спектры высокого разрешения неполяризованного излучения, так и поляризованные. Авторы оценили физические параметры звезды (T_{eff} , $\lg g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$, $[\alpha/\text{Fe}]$, v_{mic}) и обнаружили, что содержание железа значительно меньше, чем у типичных Ар-звезд, а редкоземельные элементы (Eu и Nd) усилены. По поляризованным спектрам найдено слабое магнитное поле $B_e = -226 \pm 39$ Гс, однако зеемановское расщепление в неполяризованных спектрах не найдено. Авторы нашли значение полярного магнитного поля $B_d = 4.8 \pm 0.8$ кГс, что согласуется с другими литературными оценками.

Thomson-Paressant et al. (2024) проанализировали данные LAMOST и отобрали около 100 CP-звезд с признаками депрессии на 5200 Å и вращательной модуляцией, зафиксированной TESS. Для спектрополяриметрического анализа на ESPaDOnS авторы пронаблюдали 39 объектов из этой выборки. В результате магнитное поле найдено для 36 звезд, что подтверждает высокую эффективность метода отбора кандидатов. Среди них выделяется звезда δ Sct типа HD 49198 с самым сильным магнитным полем ($B_d = 12$ кГс).

В последнее время ученые все больше интересуются магнитными характеристиками массивных звезд. Hubrig et al. (2024a) получили и проанализировали результаты измерений магнитного поля четырех массивных звезд (Of?p) в Магеллановых облаках и в контактной двойной системе CINGC 346 SSN7. В результате они обнаружили килогауссное магнитное поле в двух из этих звезд и в двойной системе. Эти данные указывают на то, что низкая металличность незначительно влияет на появление и силу магнитного поля у массивных звезд. Однако, учитывая небольшую выборку исследованных объектов, необходимы дальнейшие наблюдения.

Hubrig et al. (2024b) изучили Bp-звезду HD 57372 с экстремально сильным магнитным полем. Наблюдения проводились на HARPSpol и FORS2 с полным покрытием по фазе вращения. Период был найден по фотометрии TESS и составил 7.889 суток. В оптических и ИК-спектрах видны полностью расщепленные зеемановские компоненты. Измеренный по ним средний модуль магнитного поля демонстрирует большую амплитуду переменности — порядка 10 кГс. Структура поля имеет сложную и нестандартную конфигурацию. Продольный компонент магнитного поля B_e меняется от -6 кГс до $+1.7$ кГс. На данный момент HD 57372 — одна из самых горячих звезд с полностью разрешенными магнитными расщепленными линиями.

Erba et al. (2024) изучили магнитные характеристики массивной O-звезды HD 54879. Они провели спектрополяриметрические наблюдения на протяжении всего цикла ее вращения ($P = 7.02$ года). Лучевая скорость объекта оставалась стабильной, что исключает наличие близкого массивного спутника. Впервые была создана детализированная карта магнитного поля звезды. Оно имеет сложную структуру с заметными квадрупольными компонентами. Величина среднего магнитного поля звезды составляет $B_s \approx 2.9$ кГс, а дипольного — $B_d \approx 3.9$ кГс. Анализ химического содержания и распределения элементов по поверхности объекта показал, что ее атмосфера химически однородна: не обнаружено признаков ни вертикальной стратификации, ни горизонтальной неоднородности.

Другое исследование Küker et al. (2024), которое также посвящено изучению магнитных свойств и периодических изменений HD 54879, показало, что звезда обладает очень низкой скоростью потери массы — порядка $10^{-9} M_{\odot} \text{ год}^{-1}$. Модели выявили, что в экваториальной зоне формируется плотный диск, где, скорее всего, и происходит мощное магнитное удержание звездного ветра. Вероятно, именно этот магнитный диск является источником эмиссии в линии H α . Ее максимум совпадает с наибольшим значением продольного магнитного поля. Профиль линии H α разделяется на несколько компонентов и демонстрирует выраженные изменения в течение вращательного периода, указывая на сложную динамику в околозвездной среде.

В предыдущем обзоре (Romanyuk, 2024) мы описали уникальную короткопериодическую двойную систему ϵ Lupi с магнитными взаимодействующими между собой компонентами. Biswas et al. (2024) наблюдали систему на протяжении всего периода вращения с помощью рентгеновского телескопа XMM-Newton. Ими было обнаружено, что рентгеновское излучение меняется в зависимости от фазы орбиты и достигает пика около перицентра, как и в радиодиапазоне. Спектры показывают усиление жесткого рентгеновского излучения в момент сближения компонентов, что указывает на взаимодействие магнитосфер. Однако, в отличие от радиодиапазона, кратковременные рентгеновские всплески не выявлены.

Звезда Пласкета, HD 47129, — это интересный объект, который уже долгое время привлекает внимание исследователей, состоит из двух массивных O-звезд, причем вторичный компонент обладает магнитным полем. Эта система уже попадала в поле наших обзоров (Romanyuk, 2023), где было показано, что ее модель требует уточнения. Stacey et al. (2024) подтверждают результаты других исследований: магнитный компонент не проявляет модуляции лучевой скорости, в отличие от первичного с узкими линиями, который четко следует за

орбитой. Авторы подчеркивают, что традиционная модель O+O-системы является непригодной и нужно рассмотреть другие альтернативные сценарии.

Происхождение магнитного поля у CP-звезд остается предметом дискуссий. Frost et al. (2024) исследовали двойную систему HD 148937 с помощью спектроскопических и интерферометрических наблюдений. Они выяснили, что только одна из наиболее молодых звезд системы обладает магнитным полем. Авторы предположили, что раньше система была тройной, затем две звезды слились, образовав магнитную массивную звезду, что подтверждается наличием двуполярной туманности вокруг системы. Таким образом, результаты исследования предоставляют прямые наблюдательные подтверждения теории слияния звезд.

Kochukhov (2024) смоделировал, как среднеквадратическое B_{rms} и среднеарифметическое $\langle B_e \rangle$ магнитные поля зависят от дипольного поля B_d . При большом количестве данных эти соотношения выглядят так: $B_{\text{rms}} = 0.179^{+0.031}_{-0.043} B_d$ и $\langle B_e \rangle = 0.691^{+0.020}_{-0.023} B_d$. Автор отметил, что эти зависимости сохраняются даже при трех измерениях, равномерно распределенных по фазе. Подобные зависимости важны для анализа больших выборок объектов, каждый из которых имеет лишь несколько измерений магнитного поля.

С целью подтверждения наличия сильного магнитного поля у Am-звезды o Peg, которое ранее было зарегистрировано многими авторами (например, Takeda, 2023), Kochukhov et al. (2024) провели спектрополяризметрические наблюдения на спектрографе CRIRES+. Описание усовершенствованной версии этого прибора мы приводили в нашем предыдущем обзоре (Romanuk, 2024). Анализ линий серы в ближнем ИК-диапазоне не выявил никаких признаков зеемановского уширения; измерения продольного магнитного поля в течение трех разных ночей также дали нулевые результаты с точностью до 2 Гс. Таким образом, авторы подтвердили, что o Peg — немагнитная звезда, а характеристики ее поверхностного магнитного поля ничем не отличаются от таковых для других Am-звезд.

По опубликованным данным Glagolevskij (2024a) построил модели конфигурации магнитного поля для звезд HD 94660, HD 75049 и HD 154708. Анализ показал, что у этих объектов простая дипольная структура поля, типичная для большинства магнитных CP-звезд. Однако автор отметил, что эти объекты, как и некоторые другие с сильным магнитным полем, не подчиняются прямой зависимости периода вращения от силы магнитного поля, которая ожидается в соответствии с гипотезой о потере углового момента из-за его передачи окружающим протозвездным облакам.

Другое исследование Glagolevskij (2024b) посвящено анализу структуры магнитного поля трех массивных O-звезд: HD 37022, HD 191612, HD 149438. Сравнение магнитных характеристик этих объектов с He-г-звездами выявило схожие черты, что, вероятно, указывает на общий механизм формирования и эволюции этих типов звезд.

В работе Järvinen et al. (2024) представлены результаты наблюдений известной магнитной гоAp-звезды γ Eri в ближнем ИК-диапазоне с помощью спектрографа CRIRES+. Авторы обнаружили расхождение в оценке среднего магнитного поля: по расщепленным линиям Fe I $\lambda 1563.63$ нм оно составляет 3.9 кГс, а по линиям Ce III $\lambda 1629.2$ нм — 2.9 кГс. В то же время по зеемановскому дублету Fe II $\lambda 6249.25$ Å в оптическом диапазоне величина поля равна 3.4 кГс. Авторы рассматривают разные факторы, влияющие на различия в значениях модуля поля.

Kurtz et al. (2024) исследовали гоAp-звезду HD 12098. По фотометрии TESS они выявили наличие пятен на обоих полюсах звезды. Пульсации происходят в наклонной моде с периодом 7.85 минут. В амплитудном спектре был обнаружен необычный квадруплет, который, вероятно, связан с сильной асимметрией пульсаций между двумя полушариями, которая не описывается моделью магнитной пульсации. Это указывает на сложную структуру магнитного поля. Также авторы нашли низкообертоновую p -моду и, возможно, g -моду, которые теоретически не формируются при сильном магнитном поле более 1 кГс, как у HD 12098.

Romanuk (2024) выполнил обзор 61 работы в области исследования звездного магнетизма, которые были опубликованы в 2023 г. Автор подчеркивает устойчивый интерес научного сообщества к обнаружению новых магнитных звезд и мониторингу магнитных полей у объектов различных типов. Особое внимание уделяется изучению магнитных звезд в радиодиапазоне и рентгеновском излучении. Существенный вклад в развитие этой области вносят данные современных наблюдательных программ, таких как астрометрическая миссия Gaia, космическая фотометрия TESS и Kepler, а также спектроскопия низкого разрешения из обзора LAMOST, предоставивших значительный объем новых наблюдательных данных.

4. МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ЗВЕЗД РАЗНЫХ ТИПОВ

4.1. Вырожденные объекты

Новые исследования одиночных и двойных белых карликов выявили, что магнитное поле может появляться на поздних этапах их эволюции, а не передаваться от предыдущих фаз. Для этих объектов была предложена теория динамо, которая

связывает генерацию поля с процессами кристаллизации и вращением звезд. Для подтверждения этой теории Hernandez et al. (2024) изучили периоды вращения десяти магнитных белых карликов, находящихся на расстоянии менее 40 пк. Фотометрические данные для восьми из них получены с помощью TESS. Новые данные подтверждают, что магнитные белые карлики вращаются быстрее немагнитных. Однако среди них встречаются и медленно вращающиеся объекты с сильным магнитным полем. Это говорит о существовании альтернативного механизма их образования. Возможно, часть таких белых карликов появилась в результате слияния, что объясняет их высокую массу и сильное магнитное поле.

Bagnulo and Landstreet (2024a) обнаружили, что у большинства слабомагнитных белых карликов поляризация меняется в зависимости от вращения. Однако у старых и сильно магнитных белых карликов (старше 2 млрд лет, с магнитным полем более 10 МГс) такой переменности почти нет. Это может указывать на очень медленное вращение или на то, что магнитное поле таких объектов становится симметричным относительно оси вращения. Подобная симметрия может появиться в результате эволюции поля или быть особенностью его формирования. Массивные магнитные белые карлики, которые, возможно, возникли в результате слияния, могут быть как переменными, так и нет. Это может указывать на различные сценарии их формирования или особенности динамо-процесса при слиянии.

Bagnulo and Landstreet (2024b) опубликовали каталог наблюдений белых карликов, выполненных на спектрографах низкого разрешения FORS2 VLT ESO, высокого разрешения ESPaDOnS CFHT и на спектрографе среднего разрешения ISIS телескопа William Herschel.

Для холодных белых карликов, у которых невозможно определить магнитное поле через расщепление или поляризацию спектральных линий, Berdyugin et al. (2024) использовали высокоточный широкополосный поляриметр DIPOL-UF. В результате исследования они обнаружили 13 новых холодных магнитных белых карликов в окрестности Солнца. Эти данные помогают понять, как возникают и меняются магнитные поля у старых белых карликов.

В статье Aitov et al. (2024) обобщены результаты магнитометрических наблюдений одиночных белых карликов, проведенных как в САО РАН, так и в других обсерваториях. Авторы проанализировали распределение магнитного поля и обнаружили объекты с долгоживущими стабильными магнитными конфигурациями, которые можно использовать в качестве стандартов круговой поляризации.

Построено вероятностное распределение напряженности поверхностного магнитного поля белых карликов от 10^3 до 10^9 Гс. В диапазоне выше 10^6 Гс распределение подчиняется степенному закону, а ниже — наблюдается спад, вызванный эффектами селекции и разрушением слабого магнитного поля из-за конвекции. Авторы обнаружили, что сильное магнитное поле (больше чем десятки килогаусс) сохраняется в регулярной структуре и эволюционирует крайне медленно. Однако слабое поле фрагментируется и трудно поддается стандартным методам обнаружения.

Поведение вращения нейтронных звезд остается малоизученным и вызывает множество вопросов. Abolmasov et al. (2024) исследовали основные магнитно-вращательные свойства нейтронных звезд на разных этапах эволюции. Основное внимание было уделено разработке уравнений, описывающих изменение частоты вращения для разных типов объектов и стадий: радиопульсаров, режимов пропеллера (отбрасывание вещества магнитным полем) или аккреции (активное поглощение вещества). В статье рассматриваются различные теории и модели, представленные в литературе для объяснения изучаемых процессов.

Исследование Cehula et al. (2024) детально моделирует выброс вещества из коры магнетаров во время гигантских вспышек и демонстрирует, что такие события могут служить источниками r -процесса синтеза тяжелых элементов. Эти выбросы могут сопровождаться короткими яркими оптическими вспышками, длящимися всего несколько минут. Полученные данные помогают понять некоторые особенности радиоисточников, включая повторяющиеся быстрые радиовсплески.

Bause et al. (2024) провели длительное радионаблюдение магнитара XTE J1810–197 в период 2018–2021 гг. Они улучшили метод поиска одиночных импульсов, что позволило обнаружить более 115 000 сигналов. В течение наблюдений выявлены две фазы активности: сначала импульсы были редкими, а затем — сотни в час. В 2021 году изменилась форма импульсов: появились два пика и укороченные сигналы. Эти изменения могут быть связаны с дрейфом области излучения в магнитосфере.

Lower et al. (2024) наблюдали этот же радиомagnetар после вспышки 2018 года. Они обнаружили необычные изменения в поляризации радиоизлучения: линейная поляризация превращалась в круговую и наоборот. Этот эффект зависит от частоты и происходит только в узком участке фазы импульса. Такое поведение связано с изменениями в магнитном поле звезды, вызванными движением вещества на поверхности или прецессией коры. Эта работа помогает лучше понять магнитную среду

магнетаров и ее связь с источниками быстрых радиовсплесков.

Впервые Mereghetti et al. (2024) зарегистрировали гамма-всплеск магнетара GRB 231115A за пределами Млечного Пути, в галактике M 82. Ее спектральные и временные характеристики, отсутствие оптических и рентгеновских следов, а также отсутствие гравитационных волн подтверждают, что это не обычный короткий гамма-всплеск от слияния звезд, а гигантская вспышка магнетара.

4.2. Звезды T Tau и Ae/Be Хербига

В статье Ismailov et al. (2024) описан и проанализирован спектральный материал молодой звезды Ae Хербига HD 179218. Выявленная переменность спектральных линий H β , He I и профилей P Cyg может указывать на магнитосферную аккрецию. Угол наклона оси вращения звезды составляет $23^\circ \pm 3^\circ$. Переменность спектральных линий, вероятно, связана с магнитным полем звезды.

В ряде работ (Bouarour et al., 2024; Ganci et al., 2024; Garcia Lopez et al., 2024), выполненных в рамках проекта GRAVITY, представлен обзор свойств молодых звездных объектов. Показано, что наличие аккреционных дисков является общим признаком таких звезд. Особое внимание уделяется инфракрасным спектральным признакам пылевых компонентов, а также изучается переменность дисков и ее влияние на околозвездную среду.

Pouilly et al. (2024) изучили двойные системы DQ Tau и AK Sco, чтобы понять механизмы аккреции вещества. С помощью спектрополяриметрии авторы выявили признаки магнитосферной аккреции в обеих системах, несмотря на слабое магнитное поле у AK Sco. В системе DQ Tau A магнитная структура претерпела изменения: вместо прежнего полоидального поля теперь преобладает тороидальное. Также замечено усиление аккреции и отсутствие вспышек у апоафра, что может быть связано с эволюцией магнитного поля.

Zaire et al. (2024) на SPIRou выполнили спектрополяриметрические наблюдения молодой звезды GM And типа T Tau. Впервые с помощью ZDI-метода была восстановлена структура ее крупномасштабного магнитного поля. Оно оказалось почти полностью дипольным (с напряженностью около 730 Гс) и осесимметричным. Сравнение магнитных карт, полученных в разные эпохи, показало изменение наклона магнитного диполя, что может быть связано с нестационарными динамо-процессами. Кроме того, в данных лучевой скорости обнаружен сигнал с достоверностью 5.5σ , который может свидетельствовать о наличии экзопланеты внутри аккреционного диска. Предполагается, что масса экзопланеты составляет примерно 1.1 массы Юпитера, а расстояние до звезды — около 0.08 а.е.

4.3. Солнцеподобные и холодные звезды

Bellotti et al. (2024a) изучили спектрополяриметрические характеристики солнцеподобной звезды HD 63433, вокруг которой вращаются три экзопланеты (две субнептунианские и одна землеподобная). Они восстановили крупномасштабную магнитную структуру с преобладающим тороидальным компонентом и средней напряженностью поля около 24 Гс. Моделирование околозвездной среды выявило, что одна из планет периодически входит в магнитосферу звезды, вызывая кратковременные магнитные взаимодействия. Внешние планеты, вероятно, сталкиваются с ударной волной звездного ветра. Эти процессы влияют на эволюцию атмосфер экзопланет и важны для анализа данных трансмиссионной спектроскопии.

Bellotti et al. (2024b) изучили эволюцию крупномасштабного магнитного поля у трех активных М-карликов — EV Lac, DS Leo и CN Leo с массами $0.1\text{--}0.6 M_\odot$. На основе данных спектрополяриметрии за период 2005–2022 гг. были выявлены различные типы магнитной активности. У звезды EV Lac наблюдалось пульсирующее магнитное поле, у DS Leo — стабильное поле с изменяющейся топологией, а у CN Leo — синусоидальные колебания величины поля при сохранении его структуры. Полученные результаты подтверждают наличие различных циклов магнитной активности у М-карликов и могут служить наблюдательной основой для уточнения моделей звездного динамо у частично и полностью конвективных звезд.

В рамках проекта BinaMIS Tsvetkova et al. (2024) изучили магнитную активность двойной системы FK Aqr, состоящей из двух ранних М-карликов. Оба компонента активно вспыхивают и имеют массивные конвективные оболочки. На основе спектрополяриметрии (ESPaDOnS) впервые получены карты магнитных полей обоих компонентов. Установлено, что обе звезды обладают крупномасштабным магнитным полем величиной около 250 Гс, в основном дипольным и осесимметричным, что необычно для одиночных М-карликов.

В работе Wanderley et al. (2024) представлены измерения среднего магнитного поля для 62 М-карликов в рассеянном скоплении Плеяды, полученные по линиям Fe I в неполяризованных спектрах SDSS APOGEE. Авторы обнаружили положительную связь между величиной магнитного поля и скоростью вращения звезды. Также установлено, что объекты с более сильным магнитным полем имеют немного увеличенные радиусы (на 3–7%) и более выраженные пятна. Таким образом, авторы подтвердили, что звезды с развитой хромосферной и корональной активностью также обладают более сильным магнитным полем.

Hahlin et al. (2024) исследовали магнитное поле двойной системы CU Cancri, состоящей из двух М-карликов. У обеих звезд крупномасштабное магнитное поле оказалось относительно слабым, около 100 Гс, и преимущественно полоидальной структуры, тогда как мелкомасштабное поле значительно сильнее и достигает 3.1 кГс и 3.6 кГс соответственно. Эти данные хорошо согласуются с магнитоconvективными моделями эволюции звезд. Полученные результаты подтверждают, что магнитные поля могут существенно увеличивать радиус звезд, подавляя конвекцию.

В работе Lehmann et al. (2024) исследованы шесть медленно вращающихся М-карликов (с периодами вращения 40–190 суток) на основе спектрополяриметрии SPIRou. Для всех звезд подтверждены периоды вращения и изучена структура крупномасштабного магнитного поля. Обнаружены магнитные инверсии у двух звезд (GJ 1151 — подтвержденная, G1905 — возможная). Полностью convективные звезды показали большую переменность магнитного поля, чем частично convективные. Несмотря на медленное вращение, у всех объектов обнаружено поле величиной 20–200 Гс, как у более быстро вращающихся М-карликов, что говорит о работе другого типа динамо-механизма.

Hackman et al. (2024) исследовали точность ZDI-метода, который служит для восстановления структуры магнитного поля звезд. Они применили этот метод к данным магнитогидродинамического моделирования и оценили его эффективность. Основные крупномасштабные особенности поля восстанавливаются корректно, но его величина оказалась заниженной из-за усреднения мелких структур. Полоидально-тороидальная структура передается надежнее, чем осевая симметрия, которая оказывается переоцененной. Качество восстановления поверхности зависит от характеристик звезды и данных: при высоком S/N и хорошем покрытии фаз вращения ZDI эффективно работает даже при слабом магнитном поле и медленном вращении.

Lin et al. (2024) исследовали влияние мелкомасштабного магнитного поля на колебания в атмосфере солнечноподобной звезды KIC 8006161. Они предполагают, что этот тип поля вызывает расхождение между наблюдаемыми и модельными частотами колебаний (поверхностный астеросейсмический эффект). Сравнив модели с наблюдениями, авторы пришли к выводу, что в атмосфере звезды должно присутствовать мелкомасштабное магнитное поле с величиной около 90–96 Гс, а положение слоя слияния магнитных дуг находится на высоте 510–520 км.

4.4. Пульсирующие и активные переменные звезды ранних спектральных классов

Thomson-Paressant et al. (2023) изучили небольшую выборку звезд-кандидатов в гибриды типа δ Sct— γ Dor, наблюдавшихся спутником Kepler. Они предположили, что часть этих звезд может быть магнитными δ Sct, у которых модуляции от пятен на поверхности создают сигналы в том же диапазоне частот, что и γ Dor-пульсации. В проведенных наблюдениях магнитного поля у этих звезд не обнаружено. Однако позже было выявлено, что у других δ Sct-звезд присутствуют более слабые динамо-поля, которые могли остаться незамеченными в данных наблюдениях. Тем не менее работа позволила установить надежные верхние пределы величины реликтового поля у более горячих объектов, показав, что оно существенно слабее, чем у OBA-звезд.

В работе Barron et al. (2024) представлены первые результаты магнитного обзора классических цефеид. Наблюдения проводились на спектрополяриметрах HARPSpol и ESPaDOnS. У восьми из 15 исследованных объектов обнаружены зеемановские сигнатуры, которые имеют разнообразные формы и слабое продольное магнитное поле около 1 Гс. Авторы считают, что такие необычные характеристики могут быть вызваны градиентами скорости или магнитного поля в атмосфере звезды.

Kholtygin et al. (2024) изучили переменность звезды SAO 49725 γ -Cas-типа на основе оптических и рентгеновских спектров. Анализ показал, что линии спектра звезды меняются на коротких временных интервалах — от 70 до 223 минут. По данным спутника TESS выявлены регулярные колебания блеска с периодом 1.1989 дня, который соответствует вращению звезды. При этом характер фотометрической переменности меняется в разные эпохи наблюдений. Вариации с периодами около 3–21 дня в данных TESS могут быть связаны с инструментальными эффектами. Рентгеновские наблюдения спутника XMM также зафиксировали возможные колебания с периодом около 230 минут, но с большей погрешностью.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, мы представили обзор 67 работ, выполненных в области исследования магнитного поля CP-звезд и родственных им объектов.

Основные работы опубликованы в следующих журналах: *Astronomy & Astrophysics* — 26 статей, *MNRAS* — 12, *Astrophysical Journal* — 4, *Astrophysical Bulletin* — 8. Обращает на себя внимание уменьшение количества работ, опубликованных в *MNRAS*. Вероятно, это объясняется тем,

что начиная с 2024 года публикации в этом журнале стали платными. Основные наблюдательные программы по-прежнему ведутся с использованием FORS2, ESPaDOnS, HARPSpol и БТА САО РАН. Кроме того, появились новые результаты с инструментов SPIRou и CRIRES+.

БЛАГОДАРНОСТИ

В этом исследовании использовалась система астрофизических данных NASA's Astrophysics Data System (ADS).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания САО РАН, утвержденного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Abolmasov, A. Biryukov, and S. B. Popov, *Galaxies* **12** (1), id. 7 (2024). DOI:10.3390/galaxies12010007
2. V. N. Aitov, E. P. Korchagina, G. G. Valyavin, and S. N. Fabrika, *Astrophysical Bulletin* **79** (3), 494 (2024). DOI:10.1134/S1990341324600649
3. S. Bagnulo and J. D. Landstreet, *Astron. and Astrophys.* **692**, id. A174 (2024a). DOI:10.1051/0004-6361/202451386
4. S. Bagnulo and J. D. Landstreet, *VizieR On-line Data Catalog: J/ApJ/935/L12*. (2024b).
5. J. A. Barron, G. A. Wade, C. P. Folsom, and O. Kochukhov, *Proc. IAU Symp. No. 361*, (Cambridge University Press, Cambridge, 2024), pp. 233–235. DOI:10.1017/S1743921322002174
6. B. Bauer-Fasching, K. Bernhard, E. Brändli, et al., *Astron. and Astrophys.* **687**, id. A211 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202347476
7. M. L. Bause, W. Herrmann, and L. G. Spitler, *Astron. and Astrophys.* **686**, id. A144 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202348878
8. S. Bellotti, D. Evensberger, A. A. Vidotto, et al., *Astron. and Astrophys.* **688**, id. A63 (2024a). DOI:10.1051/0004-6361/202449581
9. S. Bellotti, J. Morin, L. T. Lehmann, et al., *Astron. and Astrophys.* **686**, id. A66 (2024b). DOI:10.1051/0004-6361/202348043
10. A. Berdyugin, J. D. Landstreet, S. Bagnulo, et al., *Astron. and Astrophys.* **690**, id. A10 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202450527
11. A. Biswas, G. A. Wade, P. Chandra, et al., *Astrophys. J.* **974** (2), id. 182 (2024). DOI:10.3847/1538-4357/ad7028
12. Y. I. Bouvarour et al. (GRAVITY Collab.) *Astron. and Astrophys.* **682**, id. A165 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202348059
13. J. Cehula, T. A. Thompson, and B. D. Metzger, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **528** (3), 5323 (2024). DOI:10.1093/mnras/stae358
14. F. Debras, B. Klein, J.-F. Donati, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **527** (1), 566 (2024). DOI:10.1093/mnras/stad2608
15. V. K. Dubrovich, S. I. Grachev, Y. N. Eroshenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **79** (1), 159 (2024). DOI:10.1134/S1990341324600030
16. C. Erba, C. P. Folsom, A. David-Uraz, et al., *Astrophys. J.* **977** (1), id. 84 (2024). DOI:10.3847/1538-4357/ad865a
17. A. J. Frost, H. Sana, L. Mahy, et al., *Science* **384** (6692), 214 (2024). DOI:10.1126/science.adg7700
18. V. Ganci et al. (GRAVITY Collab.), *Astron. and Astrophys.* **684**, id. A200 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202346926
19. R. Garcia Lopez et al. (GRAVITY Collab.), *Astron. and Astrophys.* **684**, id. A43 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202245804
20. L. Genolet, M. Aliverti, A. Balestra, et al., *SPIE Conf. Proc.* **13103**, p. 131031V (2024).
21. Y. V. Glagolevskij, *Astronomy Letters* **50** (2), 148 (2024a). DOI:10.1134/S106377372470004X
22. Y. V. Glagolevskij, *Astrophysical Bulletin* **79** (2), 260 (2024b). DOI:10.1134/S1990341324600595
23. T. Hackman, O. Kochukhov, M. Viviani, et al., *Astron. and Astrophys.* **682**, id. A156 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202347144
24. A. Hahlin, O. Kochukhov, A. D. Rains, et al., *Astron. and Astrophys.* **684**, id. A175 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202348750
25. A. N. Heinze, H. Flewelling, and M. E. Huber, *Astron. J.* **166** (4), id. 169 (2023). DOI:10.3847/1538-3881/acf7c0
26. M. S. Hernandez, M. R. Schreiber, J. D. Landstreet, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **528** (4), 6056 (2024). DOI:10.1093/mnras/stae307
27. T. Hood, F. Debras, C. Moutou, et al., *Astron. and Astrophys.* **687**, id. A119 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202348879
28. S. Hubrig, M. Schöller, S. P. Järvinen, et al., *Astron. and Astrophys.* **686**, id. L4 (2024b). DOI:10.1051/0004-6361/202449793
29. S. Hubrig, S. D. Chojnowski, S. P. Järvinen, et al., *Astron. and Astrophys.* **687**, id. A282 (2024a). DOI:10.1051/0004-6361/202449630
30. S. Hümmerich, K. Bernhard, and E. Paunzen, *Astron. and Astrophys.* **692**, id. A231 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202452075

31. N. Z. Ismailov, M. A. Pogodin, A. F. Kholtygin, et al., *Astrophysical Bulletin* **79** (3), 464 (2024). DOI:10.1134/S1990341324600509
32. S. P. Järvinen, S. Hubrig, B. Wolff, et al., *Astron. and Astrophys.* **683**, id. A66 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202348792
33. T. Kallinger, W. W. Weiss, R. Kuschnig, and K. G. Stassun, *Astron. and Astrophys.* **688**, id. A62 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202346942
34. A. F. Kholtygin, I. A. Yakunin, V. S. Bukharinov, et al., *Astrophysical Bulletin* **79** (3), 437 (2024). DOI:10.1134/S1990341324600765
35. T. Kiker, V. Diaz, L. G. Bouma, et al., *Research Notes of the American Astronomical Society* **8** (9), id. 238 (2024). DOI:10.3847/2515-5172/ad7d0f
36. B. Klein, F. Debras, J.-F. Donati, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **527** (1), 544 (2024). DOI:10.1093/mnras/stad2607
37. O. Kochukhov, *Astron. and Astrophys.* **686**, id. A189 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202449459
38. O. Kochukhov, A. M. Amarsi, A. Lavail, et al., *Astron. and Astrophys.* **689**, id. A36 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202450543
39. L. Kueß, E. Paunzen, N. Faltová, et al., *Astron. and Astrophys.* **687**, id. A176 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202348926
40. M. Küker, S. P. Järvinen, S. Hubrig, et al., *Astronomische Nachrichten* **345** (4), id. e20230169 (2024). DOI:10.1002/asna.20230169
41. D. W. Kurtz, H. Saio, D. L. Holdsworth, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **529** (1), 556 (2024). DOI:10.1093/mnras/stae431
42. L. T. Lehmann, J. F. Donati, P. Fouqué, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **527** (2), 4330 (2024). DOI:10.1093/mnras/stad3472
43. G. Lin, Y. Li, J. Su, et al., *Astrophys. J.* **976** (1), id. 133 (2024). DOI:10.3847/1538-4357/ad89a4
44. M. E. Lower, S. Johnston, M. Lyutikov, et al., *Nature Astronomy* **8**, 606 (2024). DOI:10.1038/s41550-024-02225-8
45. A. Marconi, M. Abreu, V. Adibekyan, et al., *SPIE Conf. Proc.*, **13096**, p. 1309613 (2024).
46. G. Mathys, D. L. Holdsworth, and D. W. Kurtz, *Astron. and Astrophys.* **683**, id. A227 (2024b). DOI:10.1051/0004-6361/202348259
47. G. Mathys, D. L. Holdsworth, M. Giarrusso, et al., *Astron. and Astrophys.* **691**, id. A186 (2024a). DOI:10.1051/0004-6361/202451437
48. S. Mereghetti, M. Rigoselli, R. Salvaterra, et al., *Nature* **629** (8010), 58 (2024). DOI:10.1038/s41586-024-07285-4
49. Y. Pakhomov, I. Potravnov, A. Romanovskaya, and T. Ryabchikova, *Universe* **10** (9), id. 341 (2024). DOI:10.3390/universe10090341
50. I. Potravnov, N. Piskunov, and T. Ryabchikova, *Astron. and Astrophys.* **689**, id. A111 (2024a). DOI:10.1051/0004-6361/202451052
51. I. Potravnov, T. Ryabchikova, N. Piskunov, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **527** (4), 10376 (2024b). DOI:10.1093/mnras/stad3893
52. I. S. Potravnov and T. A. Ryabchikova, *INASAN Science Reports* **9**, 1 (2024). DOI:10.51194/INASAN.2024.9.1.001
53. K. Pouilly, A. Hahlin, O. Kochukhov, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **528** (4), 6786 (2024). DOI:10.1093/mnras/stae383
54. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **70** (2), 191 (2015). DOI:10.1134/S1990341315020054
55. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **78** (4), 594 (2023). DOI:10.1134/S1990341323700244
56. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **79** (4), 664 (2024). DOI:10.1134/S1990341324600868
57. I. I. Romanyuk, A. V. Moiseeva, I. A. Yakunin, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **79** (4), 644 (2024a). DOI:10.1134/S1990341324600728
58. I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. V. Moiseeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **79** (1), 95 (2024b). DOI:10.1134/S1990341323600357
59. M. Sarkar, S. Joshi, M.-A. Dupret, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **534** (4), 3211 (2024). DOI:10.1093/mnras/stae2258
60. E. Semenko, O. Kochukhov, Z. Mikulášek, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **535** (3), 2812 (2024). DOI:10.1093/mnras/stae2503
61. F. Shi, H. Zhang, S. Hubrig, et al., *Astron. and Astrophys.* **691**, id. A272 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202451417
62. E. Stacey, G. A. Wade, J. H. Grunhut, et al., *Proc. IAU Symp.*, No. 361, pp. 336–338 (2024).
63. Y. Takeda, *Astronomische Nachrichten* **344** (3), id. e20220057 (2023). DOI:10.1002/asna.20220057
64. K. Thomson-Paressant, C. Neiner, and J. Labadie-Bartz, *Astron. and Astrophys.* **689**, id. A208 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202450651
65. K. Thomson-Paressant, C. Neiner, P. Lampens, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **526** (2), 1728 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad2798
66. S. Tsvetkova, J. Morin, C. P. Folsom, et al., *Astron. and Astrophys.* **682**, id. A77 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202347604
67. F. Wanderley, K. Cunha, O. Kochukhov, et al., *Astrophys. J.* **971** (1), id. 112 (2024). DOI:10.3847/1538-4357/ad571f
68. M. Weber, M. Woche, D. Sablowski, et al., *SPIE Conf. Proc.*, **13096**, p. 130964A (2024).
69. B. Zaire, J. F. Donati, S. P. Alencar, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **533** (3), 2893 (2024). DOI:10.1093/mnras/stae1955
70. H.-J. Zhong, D.-X. Shen, C.-H. Zhu, et al., *Research in Astron. and Astroph.* **24** (8), id. 085014 (2024). DOI:10.1088/1674-4527/ad621d

Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars. XI. Main Results Obtained in 2024 and Analysis of Immediate Prospects

I. I. Romanyuk¹ and A. V. Moiseeva¹

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

The paper presents a review of 67 scientific papers devoted to the study of stellar magnetism and related topics published in 2024. The main interest of researchers is focused on searching for new magnetic stars and monitoring the magnetic fields of CP stars and objects of other types. Interest has increased in the study of radiation from magnetic stars in the X-ray and radio ranges. The main new data were collected using Gaia astrometry, TESS and Kepler photometry, and LAMOST low-resolution spectroscopy. The first results obtained with the new SPIRou and CRIRES+ spectrographs are discussed.

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