

УДК 524.35-337

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ И РОДСТВЕННЫХ ИМ ЗВЁЗД. I. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2014 ГОДА И БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

© 2015 И. И. Романюк*

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 22 января 2015 года; принята в печать 10 марта 2015 года

По работам, опубликованным большей частью в 2014 году, выполнен критический анализ результатов исследований магнитных полей химически пекулярных и родственных им звезд. Рассмотрены методические вопросы и проанализированы результаты научных исследований. Большинство измерений магнитных полей получено на хорошо известных приборах. В 2014 году закончен большой наблюдательный проект MiMeS, в рамках которого были выполнены наблюдения более 500 объектов; магнитные поля найдены у 35 из них. При наблюдениях 6-м телескопе САО РАН найдено 20 новых магнитных звезд. На ряде телескопов с помощью спектрополяриметров HARPS, ESPaDOnS, NARVAL проводятся регулярные измерения магнитных полей с точностью порядка единиц Гаусс. Изучены поля сложной топологии, построены магнитные карты, найдена связь с распределением аномалий химического состава. Продолжается дискуссия о реальности существования магнитного поля порядка 1 Тс у Веги и у некоторых других объектов. По-видимому, подтверждается факт отсутствия крупномасштабного магнитного поля величиной более нескольких десятков Гаусс у ртутно-марганцевых и Am-звезд. Найдены первые CP-звезды за пределами Галактики — в Большом Магеллановом Облаке. Продолжены наблюдения магнитных полей звезд солнечного типа, обнаружена сильная корреляция между величиной поля и степенью хромосферной активности.

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

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование звездного магнетизма — одно из важнейших направлений современной наблюдательной астрофизики. Первые магнитные звезды были открыты Бэбкоком около 70 лет назад [1], однако вплоть до конца XX века систематические магнитные измерения проводились всего на двух—трех телескопах мира. Инструментальные возможности и методика обработки данных позволяли обнаруживать только сильные (более сотен Гаусс) крупномасштабные регулярные магнитные поля простой (в основном, дипольной) топологии. Оказалось, что такие поля наблюдаются у очень ограниченного набора объектов: у магнитных CP-звезд и магнитных белых карликов. С появлением цифровых светоприемников в конце 80-х XX века и разработкой новых методов анализа профилей спектральных линий крупномасштабные (занимающие десятки процентов площади поверхности) поля были обнаружены у некоторых типов солнечноподобных звезд.

В наших работах [2] и [3] мы осуществили аналитический обзор важнейших магнитных исследований, выполненных в последние 15–20 лет. Нужно отметить резко возросший интерес к указанной области исследований в последнее десятилетие. Построены новые высокоточные приборы, позволившие на два порядка (до 1 Тс) увеличить предел обнаружения магнитных полей. Поля порядка единиц Гаусс, по порядку величины сравнимые с общим магнитным полем Солнца, могут оказаться характерными для звезд любых типов. Поэтому проводятся массовые наблюдения с целью их поиска у разнообразных объектов. Ежегодно публикуются сотни статей с анализом полученных результатов измерений полей химически пекулярных и родственных им звезд и проводятся несколько крупных международных научных конгрессов, в которых в той или иной степени затрагиваются вопросы звездного магнетизма.

Все более актуальными представляются обзоры современных работ, которые позволяют оперативно ориентироваться в большом потоке публикуемой информации: необходима систематизация полученных данных.

*E-mail: roman@sao.ru

Хотелось бы отметить очень важную работу издателя электронного журнала «A Peculiar Newsletter»¹ Dr. Luca Fossati по отслеживанию и публикации списка работ, индексируемых в базе данных NASA ADS. Мы широко используем эти данные в наших исследованиях.

Из более чем 300 работ, представленных по данной тематике в NASA ADS в 2014 г., мы выделили около 100 важнейших, дающих полное представление о развитии рассматриваемой нами проблемы.

Кроме статей, опубликованных в журналах, в анализ включены также публикации трех крупных конференций:

- (1) *Putting A Stars into Context: Evolution, Environment, and Related Stars*, proceedings of the international conference held on June 3–7, 2013 at Lomonosov Moscow State University, Russia, ed. by G. Mathys, E. Griffin, O. Kochukhov, R. Monier, and G. Wahlgren (Pero, Moscow, 2014);
- (2) *Magnetic Fields throughout Stellar Evolution*, IAU Symposium 302 (2014), held on August 25–29, 2013, Biarritz, France;
- (3) *Physics and Evolution of Magnetic and Related Stars*, proceedings of the international meeting, August 25–31, 2014, Nizhny Arkhyz, Russia, ed. by Yu. Yu. Balega, I. I. Romanyuk, and D. O. Kudryavtsev, ASP Conf. Series, Vol. 494 (2015).

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Измерение магнитных полей относится к методически сложным экспериментам. Существует множество искажающих факторов, неучет или неправильный учет которых может значительно повлиять на результат. К таким факторам относятся как разные инструментальные эффекты спектрополяриметров, так и различные неопределенности, возникающие при анализе сложных поляризованных профилей спектральных линий. Поэтому рассмотрим вкратце основные спектрополяриметры, на которых были получены анализируемые нами результаты, методику наблюдений и анализа. Сравним точности измерений магнитных полей и проанализируем причины расхождений результатов, зарегистрированных на разных приборах.

¹<http://apn.arm.ac.uk/newsletter/>

2.1. Основные спектрополяриметры

Подавляющее количество наблюдений, результаты которых были опубликованы в 2014 г., выполнено на давно существующих спектрополяриметрах FORS1/2 (ESO VLT), MuSiCoS, ESPaDOnS, NARVAL (CFHT, BLT), ОЗСП (6-м телескоп) и на новом спектрополяриметре HARPSpol (ESO).

2.1.1. FORS1/2 VLT

Спектрополяриметр FORS1 был построен для 8-м телескопа с целью изучения магнитных полей максимального количества слабых звезд в далеких рассеянных скоплениях [4]. Это прибор низкого спектрального разрешения ($R = 2000$). V -параметр Стокса регистрируется одновременно в нескольких линиях Бальмеровской серии водорода и в сильных линиях гелия, кремния и других металлов. Из вышеизложенного понятно, что прибор наиболее приспособлен для поиска очень сильных магнитных полей горячих звезд, особенно с усиленными линиями гелия и кремния. Продольное магнитное поле определяется методом LSD (Least Square Deconvolution), подробно описанным в работе Donati et al. [5]. Прибор исключительно эффективен при поиске новых магнитных звезд, на нем выполнено много прекрасных наблюдений, например, Bagnulo et al. [6]. Но при сравнении с результатами, полученными классическим зеемановским способом, разработанным Бэбкоком [1], оказалось, что имеются проблемы с калибровкой: результаты измерений одних и тех же звезд часто не совпадают. На наш взгляд, в этом случае предпочтительнее отдавать классической методике, так как полученные с ее помощью результаты не зависят от точности проведения континуума, от интенсивности выборки используемых линий и от некоторых других параметров.

Кроме того, FORS1 не следует применять при измерениях очень слабых магнитных полей, поскольку в этом случае приходится использовать очень слабые (менее 0.01%) сигналы V -параметра Стокса и бороться с влиянием трудно учитываемых инструментальных эффектов. Для поиска слабых магнитных полей следует использовать приборы высокой разрешающей силы. Интересная дискуссия по этому вопросу опубликована Ландстритом и др. [7]. Проанализирован архив данных FORS1 в поляриметрической моде, показано, что полученные данные имеют превосходное качество, за исключением измерений очень слабых магнитных полей. Некоторые обнаружения магнитных звезд, полученные на этом приборе, впоследствии не подтвердились.

FOR2 представляет собой модернизированный вариант FORS1.

2.1.2. *MuSiCoS, ESPaDOnS, NARVAL*

Эти три спектрополяриметра высокого разрешения установлены на телескопах среднего размера. Они используются для поисков очень слабых магнитных полей методом LSD. При соответствующем накоплении можно обнаружить сигнал V -параметра Стокса от многих линий слабее 0.01%, что соответствует точности измерений продольного магнитного поля порядка 20–30 Гс.

Первым из этих приборов был построен *MuSiCoS* [8] ($R = 35\,000$). Он установлен на 2-м телескопе TBL обсерватории Pic du Midi в Пиренейях. Рабочая область спектрополяриметра 4000–7000 Å. Кроме V -параметра Стокса, имеется возможность измерять Q - и U -параметры Стокса, характеризующие линейную поляризацию.

NARVAL и *ESPaDOnS* — спектрополяриметры нового поколения, в 10–20 раз более эффективные, чем *MuSiCoS* [9]. *ESPaDOnS* установлен на 3.6-м телескопе CFHT, а *NARVAL* — на TBL вместо *MuSiCoS*. Оба — спектрополяриметры высокого разрешения ($R = 65\,000$). Рабочая область спектра 3690–10 500 Å. Это два идентичных инструмента. Их технические характеристики приведены в работе Silvester et al. [10]. Оба прибора позволяют измерять I, Q, U, V -параметры Стокса. Предельная точность измерений составляет порядка единиц Гаусс.

2.1.3. *ОЗСПБТА*

На 6-м телескопе САО РАН магнитные измерения выполняются на Основном звездном спектрографе [11], оборудованном анализатором круговой поляризации. Описание прибора приведено на сайте САО.² На ОЗСП выполняются наблюдения широкого круга объектов: от молодых звезд главной последовательности до магнитных белых карликов. Стандартное спектральное разрешение $R = 15\,000$. Предельная звездная величина при таком разрешении — около 12^m.

В качестве примера приведем большой цикл наблюдений, выполненных с целью поиска новых магнитных CP-звезд. В 2000–2006 гг. были проведены наблюдения 96 кандидатов в новые магнитные звезды, у 72 из них были найдены сильные крупномасштабные магнитные поля Кудрявцевым и др. [12]. Из недавно опубликованных результатов наблюдений объектов других типов отметим работы Додина и др. [13]. Они выполнили наблюдения продольной компоненты поля трех классических звезд типа T Tau: DO Tau, DR Tau и DS Tau. У всех трех звезд обнаружено магнитное поле в области формирования узкого компонента линии He I

5876 Å на уровне более 2σ . Точность измерений зависит от спектра звезды и составляет от 50 до 200 Гс при типичном отношении $S/N = 200$.

Для редукиции данных используется классический метод измерения взаимных сдвигов ортогонально поляризованных σ -компонент спектральных линий — модификация способа, предложенно-го Бэбкоком.

2.1.4. *HARPSpol*

Это новый спектрополяриметр. Поляриметрическая мода для спектрографа HARPS описана в работе Пискунова и др. [14]. Прибор установлен на 3.6-м телескопе ESO в La Silla. Это инструмент высокого разрешения, работает в спектральной области 3780–6910 Å. Медианное спектральное разрешение $R = 106\,000$. Типичное отношение сигнал/шум спектров в области 5000 Å от 100 до 1000. Точность измерений — на уровне единиц Гаусс. Результаты, полученные на этом спектрополяриметре, будут описаны в следующих разделах нашего обзора.

2.2. *Ошибки, возникающие при редукиции данных*

Классический метод измерений магнитных полей, предложенный Бэбкоком [1], заключается в измерениях дифференциальных сдвигов ортогонально поляризованных σ -компонент спектральных линий. В результате измерений получается продольный компонент B_e усредненного по всей видимой поверхности магнитного поля звезды. Результат находится суммированием сдвигов всех измеренных линий и делением на сумму их факторов Ланде. При таком подходе вес каждой линии пропорционален ее фактору Ланде. Измеряются центры тяжести линий. Величина полученного поля практически не зависит от правильности проведения континуума. Точность измерений B_e существенно уменьшается при увеличении ширины и сложности профилей спектральных линий. Например, затруднение вызывает определение центра тяжести сложного профиля. Эти трудности оказывают существенно влияние в случае измерения магнитных полей быстро вращающихся горячих звезд с малым количеством линий.

Поэтому для исследования сложных профилей со слабыми сигналами поляризации были разработаны новые методы. В частности, широко используется упомянутый выше метод LSD [5]. Он заключается в усреднении сигнала V -параметра Стокса измеряемых линий и нахождении некоего среднего сигнала круговой поляризации от всех включенных в измерения линий. В первом приближении величина V -параметра Стокса пропорциональна величине сдвига, но абсолютной тождественности

²<http://www.sao.ru/hq/lizm/mss/ru/>

нет, так как V -параметр определяется еще и формой профиля. Методом LSD определяется не сдвиг центров тяжести, а средняя круговая поляризация крыльев линий. Поэтому величина продольного поля B_e , полученная методом LSD, зависит от интенсивности измеряемых линий (вклад более интенсивных линий больше) и от правильности проведения континуума. В этом и заключается причина несовпадения результатов измерений магнитных полей, полученных разными методами.

В некоторых случаях использовались и другие методы определения магнитного поля, о которых мы упомянем при анализе отдельных статей нашего исследования.

3. МАГНИТНЫЕ CP-ЗВЕЗДЫ В СКОПЛЕНИЯХ. ПОИСКИ НОВЫХ МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД

Для решения многих вопросов, связанных с выяснением механизмов образования магнитных полей звезд и их дальнейшей эволюции, необходимо тщательное сравнение теории с наблюдениями. Теоретические предсказания делаются на основании сложных магнитогидродинамических расчетов с параметрами, значительная часть которых ненаблюдаема. Несмотря на то, что теория предсказывает различную степень зависимости величины магнитного поля от возраста, скорости вращения, температуры и других физических параметров звезд, степень их неоднозначности велика. Решить проблему можно только значительно увеличив выборку звезд с измеренными магнитными полями. В этом вопросе имеется согласованное мнение исследователей.

В последние годы были выполнены очень крупные наблюдательные программы, в которых принимало участие большое количество ученых из разных стран мира. Они привели к существенному увеличению выборки магнитных CP-звезд.

Отметим в первую очередь проект MiMeS (руководитель Gregg Wade) по поиску новых магнитных O- и B-звезд по спектрам высокого разрешения [15]. В ходе его выполнения были получены спектры свыше 500 O- и B-звезд, из них у 35 обнаружено магнитное поле. Делается вывод о том, что доля магнитных среди O- и B-звезд составляет 7%.

Большая серия наблюдений, приведшая к открытию более 100 новых магнитных звезд, была выполнена на 6-м телескопе САО РАН (Романюк и др. [16]). Подавляющая часть объектов — это Вр-звезды молодых рассеянных скоплений.

Поиски новых магнитных звезд проводились как среди звезд-членов скоплений (в основном, O- и B-звезды), так и среди звезд поля (более холодные

A-звезды). Другое направление — поиски сверхслабых (порядка 1 Гс) общих магнитных полей ярчайших звезд и достаточно сильных полей сложной структуры у солнечноподобных звезд.

3.1. Поиск CP-звезд в скоплениях разного возраста

Поиски магнитных полей у звезд рассеянных скоплений с надежно определенными возрастными имеют вполне очевидный смысл: при наличии достаточно большой выборки таких объектов можно попытаться построить зависимость между величиной поля и возрастом звезд. Такие попытки предпринимались ранее неоднократно, однако малое количество уже известных магнитных звезд в скоплениях не позволяло сделать уверенные выводы.

Так как абсолютное большинство объектов скоплений — это нормальные немагнитные звезды, то задача поиска новых магнитных звезд в них разбивается на две: (1) поиски химически пекулярных звезд в скоплениях и (2) измерения у них магнитных полей.

Начнем с работ по поиску CP-звезд в скоплениях разного возраста. Классические работы по выделению CP-звезд основаны на выявлении характерных деталей: резкого усиления или ослабления линий определенных химических элементов. Но с конца восьмидесятых годов XX века развивались фотометрические критерии поиска пекулярных звезд, что позволило резко увеличить возможности поиска CP-звезд среди очень слабых объектов, в частности, звезд далеких скоплений. Спектр слабой звезды получить труднее, чем заполнить ее фотометрию.

В качестве критерия пекулярности наиболее эффективно использовать наличие депрессий в непрерывном спектре, в частности, в области $\lambda 5200 \text{ \AA}$. В свое время были разработаны среднеполосные фотометрические системы, позволяющие измерять депрессии и отделять пекулярные звезды от нормальных. Наибольшее количество наблюдений было выполнено в Женевской фотометрической системе и в системе Δa , разработанной в Венской обсерватории. К сожалению, наблюдения в Женевской системе прекратились более десяти лет тому назад, поэтому Венская система является в настоящее время единственной фотометрической системой, в которой проводятся регулярные наблюдения для поиска новых CP-звезд, в первую очередь в скоплениях. В 2014 г. опубликован ряд работ Венской группы.

Паунзен и др. [17], используя Δa -фотометрию, провели измерения в области $\lambda 5200 \text{ \AA}$ для 304 звезд, 207 из которых являются членами рассеянных скоплений. Исследовались CP-звезды

в скоплениях Feinstein 1, NGC 2168, NGC 2323, NGC 2347, NGC 2547, NGC 4103, NGC 6025, NGC 6633, Stock 2, Trumpler 2. Все эти скопления, за одним исключением, моложе 235 млн лет. Выборку можно считать полной вплоть до десятой звездной величины. Найдено пятнадцать новых CP-звезд главной последовательности. Обнаруженные звезды представляют интерес для будущих спектральных исследований.

Паунзен и др. [18] провели первую $\Delta\alpha$ -фотометрию в трех шаровых звездных скоплениях с целью найти какую-либо пекулярность в области 5200 Å. Приведены результаты фотометрии 2266 звезд по 109 отдельным кадрам для трех шаровых скоплений: NGC 104, NGC 6205 и NGC 7099. Построены различные фотометрические диаграммы для звезд скоплений. Для NGC 6205 проведено сравнение с литературными данными по химическому составу с целью калибровки данных фотометрии. Аномалии на 5200 Å имеют около 3% звезд. Получен многообещающий результат, позволяющий предлагать новые программы наблюдений.

Netopil et al. [19] обнаружили очень молодую химически пекулярную звезду в стадии эволюции до ГП в рассеянном скоплении Stock 16. Наблюдения выполнялись на спектрографе UVES ESO ($R = 40\,000$). Возраст скопления 3–8 млн лет. Был проведен анализ атмосферы, получены эффективная температура $T_e = 8400$ К, $\lg g = 4.1$, $v \sin i = 68$ км с⁻¹. По эволюционным трекам определен возраст звезды (4–6 млн лет), совпадающий с возрастом скопления. Судя по спектру, это химически пекулярная Am-звезда. Наличие такого молодого объекта среди Am-звезд создает очень серьезные противоречия с теорией диффузии. Звезда одиночная, и магнитное поле в ее атмосфере не обнаружено. Найден ИК-избыток, указывающий, что звезда находится на стадии эволюции до ГП.

Та же Венская группа (Паунзен и др. [20]) проанализировала данные, полученные со спутника STEREO для 558 немагнитных CP-звезд, с целью поиска вращательной и пульсационной переменности. Найдена фотометрическая переменность для 44 объектов, для 35 из них — впервые. Большинство звезд можно поделить на две группы: Am-звезды и ртутно-марганцевые звезды. Остальные 514 объектов постоянны в пределах периодов от 0.1 до 10 суток.

Исследования показывают, что доля CP-звезд в рассеянных скоплениях очень небольшая. Как правило, только в редких случаях (например, ассоциации в Орионе или в Скорпионе—Центавре) можно найти более десяти CP-звезд в скоплении. Обычно наблюдается от одной до трех пекулярных звезд в каждом из них.

Получены новые важные данные: найдены первые CP-звезды в шаровых скоплениях [18].

3.2. Новые магнитные звезды

В работе Alecian et al. [21] представлен проект *Magnetism in Massive Stars (MiMeS)*, в ходе выполнения которого получены новые данные о магнетизме массивных звезд. Идентифицировать массивную звезду в качестве магнитной — дело случая, так как только несколько процентов массивных звезд имеют магнитное поле доступной для измерений величины. Поэтому одной из главных целей проекта является наблюдение как можно большей выборки массивных звезд и построение подвыборки магнитных звезд для более глубоких исследований, в частности, для проверки моделей и теории реликтового происхождения магнитного поля и эволюции магнитной звезды.

Спектрополяриметрические наблюдения большой выборки OB-звезд с высоким разрешением стали возможными благодаря трем большим наблюдательным программам на спектрополяриметрах ESPaDOnS, NARVAL и поляриметрическом модуле HARSPol спектрографа HARPS. В рассматриваемой работе описываются метод и первые результаты анализа полученных на HARSPol данных. Магнитные поля были измерены с помощью мультилинейной (multi-line) методики анализа.

Далее, если было возможно, некоторые новые магнитные звезды исследовались более детально для определения их периода вращения, что является критическим для последующих построений магнитных карт. Результаты исследований восьми новых магнитных звезд описаны детально. Магнитные поля были найдены у семи Bp-звезд ранних типов и у Ap-звезды — вторичного компаньона нормальной B-звезды. В статье приведена таблица измерений магнитного поля.

В контексте программы MiMeS [22] были проведены наблюдения круговой поляризации для 85 Be-звезд. Ни у одной из них магнитное поле не обнаружено, что подтверждает все предыдущие результаты исследований рабочей группы, возглавляемой Дж. Ландстритом и Г. Вэйдом.

Neiner, Tkachenko, and the MiMes collaboration [23] обнаружили магнитное поле у пульсирующей кратной B-звезды HD 1976. Магнитное поле оказывает большое влияние на эволюцию таких систем. Однако к настоящему времени только дюжина магнитных OB-двойных известна. Среди них несколько магнитных пульсирующих спектроскопических OB-двойных. Авторы проверили наличие магнитного поля у иерархической тройной системы HD 1976 по спектрополяриметрическим данным, полученным на спектрополяриметре NARVAL. Были вычислены усредненные

LSD-профили V -параметров Стокса. Исследование показало, что HD 1976 — это двухлинейчатая спектрально-двойная (SB2), при этом линии второго компонента в два раза шире линий главного компонента. Авторы не отождествили третий компонент звезды. Были найдены четкие характерные магнитные признаки, которые ассоциируются с главной звездой.

В работе приведена таблица шестнадцати измерений. В пяти случаях поле значительно превышает ошибки. Продольное поле B_e меняется от -200 до $+200$ Гс. Поле на полюсе HD 1976 должно достигать по крайней мере 600 Гс. Система очень интересна тем, что это вторая из известных пульсирующих магнитных звезд.

Folsom et al. [24] исследовали орбитальные параметры, химический состав и магнитное поле двойной звезды HD 98088. Это синхронизированная двухлинейчатая спектрально-двойная система с магнитным Ар главным компонентом и Ам-звездой в качестве спутника. Наблюдения выполнены на спектрополяриметре MuSiCoS TBL. Использовались 29 спектров V, Q, U -параметров Стокса, по которым определили основные параметры системы. Содержание химических элементов в атмосфере главной компоненты типично для холодной Ар-звезды, в то время как вторичный компонент — типичная Ам-звезда. Продольное магнитное поле меняется от -920 до $+1170$ Гс с периодом, совпадающим с орбитальным периодом; поле имеет дипольную природу, и положительный полюс диполя ориентирован примерно в направлении вторичного компонента. Поле у вторичного компонента обнаружено не было. Орбитальный период составляет примерно 5.9 суток. Найден возраст звезды ($\lg t = 8.8$). Поле на полюсе диполя достигает 3.9 кГс, угол наклона $\beta = 75^\circ$. Это очень редкий случай, когда магнитная Ар-звезда находится близко к Ам-звезде в двойной системе.

В работе Wade et al. [25] исследуется наличие магнитного поля в звезде B3V ι Her. На спектрополяриметре ESPaDOnS CFHT получены 128 спектров V -параметра Стокса этой горячей звезды с высоким соотношением S/N . Для поиска у нее слабых или сложных магнитных полей применялся метод анализа LSD. Ни на одном из профилей не видно никаких зеемановских особенностей. Полученное авторами продольное магнитное поле составляет -0.24 ± 0.32 Гс. Авторы провели различного рода моделирование, чтобы определить верхнюю границу поля на поверхности звезды. Первый вариант моделирования заключался в сравнении наблюдаемых LSD-профилей с синтетическими V -профилями в предположении, что поле дипольное. В этом случае верхний предел поля на полюсе диполя составляет 8 Гс. Второй вариант — многопятенная структура поверхности: пятна радиусом

2° заполняют 50% поверхности. В таком случае интенсивность поля не превышает 4 Гс в пятнах. И, наконец, третий вариант: проведено сравнение наблюдений ι Cas с синтетическим профилем при условии, что магнитная карта ι Cas соответствует магнитной карте Веги. Авторы приходят к выводу, что поле с характеристиками поля Веги найти очень маловероятно. Для этого нужно, чтобы сигнал поляризации наблюдался в виде одиночного пика с большой интенсивностью (примерно 30 Гс, т.е. в четыре раза более сильного, чем у Веги). Таким образом, авторы статьи приходят к выводу, что магнитное поле ι Cas не обнаружено. Более того, ставится под сомнение и обнаружение поля на Веге.

Bohlender and Monin [26] приводят результаты магнитного обзора, выполненного на 1.8-м телескопе Доминионской обсерватории на поляриметре конструкции Монины DimaPol [27]. Используется спектральное разрешение $R = 10\,000$. Всего в обзоре проведены наблюдения 125 звезд, включая хорошо известные, используемые в качестве магнитных стандартов. Обнаружено достаточно большое количество новых магнитных звезд, некоторые из них имеют продольные поля, превышающие 2 кГс. Представлены кривые переменности продольного магнитного поля B_e шести звезд:

HD 35298	$-3000/+4200$ Г, $P = 1^d85$;
HD 35502	$-3000/0$ Г, $P = 0^d85$;
HD 189775	$-500/+1500$ Г, $P = 2^d605$;
HD 213918	$-4000/+3000$ Г, $P = 1^d43$;
HD 217833	$-2000/+1000$ Г, $P = 5^d39$;
HD 221218	$-3000/+2500$ Г, $P = 2^d64$.

Найдены различия (в некоторых случаях очень большие) в величине поля, определенной по $H\beta$ и по линиям металлов.

Далее рассмотрим несколько работ, выполненных группой исследователей под руководством Светланы Хубриг.

Hubrig et al. [28] приводят результаты измерений магнитных полей шести звезд типа Herbig Ae/Be, полученных на спектрографе HARPS в поляриметрической моде. Продольное поле получается из относительных сдвигов лево- и правоциркулярно поляризованных компонент линий при использовании метода моментов, введенного Матисом. В работе впервые обнаружено слабое магнитное поле у HAeBe-звезд HD 58647 и HD 98922. Далее авторы подтверждают обнаружение поля у звезды HD 190073. Измеренное продольное поле HD 190073 ($\langle B_z \rangle = 91 \pm 18$ Гс) не совпадает с результатом Alecian et al. [29] ($\langle B_z \rangle = -10 \pm 20$ Гс), которые применили LSD-метод для этих же данных. Ни для одной звезды кроссовер-эффект не был обнаружен.

В работе этой же группы [30] рассматривается двойная система HD 161701, в которой главным компонентом является HgMn-звезда, а вторичным — Ar-звезда. Наблюдения выполнялись в ESO: спектральные — на FEROS, а спектрополяриметрические — на HARPSpol. Орбита двойной почти круговая с периодом $12^d.451$. Главный компонент имеет химический состав, типичный для ртутно-марганцевых звезд. У вторичного обнаружен избыток (на 1–2 dex) содержания элементов группы железа и других металлов и сильный избыток (на 2.5 dex) содержания стронция и редкоземельных элементов. Эта звезда имеет пятна титана и редких земель, концентрирующиеся на поверхности в области, обращенной к главной звезде, а пятна железа расположены с обратной стороны. Подобное совпадение химических пятен с положением второй компоненты двойной — это факт, который был недавно обнаружен у нескольких других химически пекулярных звезд. Предполагается возможная связь между наличием компаньона и происхождением химических аномалий.

Хубриг и др. [31] исследовали магнитное поле указанной выше двойной системы HD 161701. Спектры получены на HARPSpol с разрешением $R = 115\,000$. Это вторая (после HD 98088) тесная двойная с магнитным Ar-компонентом. Авторы нашли, что продольное поле величиной до 200 Гс меняется с периодом $12^d.451$, который является и периодом вращения магнитной звезды, и периодом обращения в двойной системе. Поведение магнитного поля вторичного компонента тесно связано с положением главного компонента; преобладает отрицательная полярность. У главного компонента магнитное поле выше 90 Гс не обнаружено.

До недавнего времени факты свидетельствовали о том, что в двойных системах с CP-компонентом магнитной звездой является главный компонент. Теперь мы видим, что это правило выполняется не всегда.

Вековые изменения в содержании элементов в атмосферах магнитных CP-звезд были найдены Bailey et al. [32]. CP-звезды имеют очень спокойные верхние оболочки, и в их атмосферах могут образовываться необычные химические пятна. Для понимания механизмов их возникновения авторы решили установить, меняется ли степень пекулярности с эволюцией звезды на ГП, и таким образом найти наблюдательные подтверждения теории диффузии. Был проведен спектральный анализ пятнадцати магнитных Vp-звезд в рассеянных скоплениях (имеющих надежно определенный возраст) с массами между тремя и четырьмя солнечными. Для каждой звезды было измерено содержание He, O, Mg, Si, Ti, Cr, Fe, Pr и Nd. В результате была обнаружена систематическая

эволюция химического состава в период жизни звезды на ГП в связи с охлаждением атмосферы и уменьшение ускорения силы тяжести, вызванное увеличением диаметра. Во время жизни звезды на ГП наблюдаются четкие и систематические вариации содержания He, Ti, Cr, Pr и Nd. Для всех этих элементов, за исключением гелия, содержание в атмосфере падает с возрастом. Для элементов железного пика оно стремится к солнечному, в то время как содержание редкоземельных элементов стремится к величине, примерно в 100 раз превышающей солнечную. Гелий всегда в недостатке по сравнению с Солнцем, в ходе эволюции его содержание меняется от 1% до 10% солнечного. Авторы пытаются интерпретировать наблюдаемые вариации химического состава в рамках теории радиативной диффузии, с помощью которой можно объяснить некоторые (но не все) наблюдаемые аномалии.

Целый ряд работ по исследованию магнитных звезд был выполнен на 6-м телескопе САО РАН.

Якунин [33] провел спектрополяриметрические наблюдения магнитной звезды с усиленными линиями гелия HD 35298 и сравнил результаты, полученные разными методами. Было найдено, что продольный компонент поля B_e меняется от -3 до $+3$ кГс. Геометрия магнитного поля объяснена в рамках модели наклонного ротатора. Полученная кривая изменения B_e может быть описана центральным диполем с величиной поля на полюсе 11.5 кГс. Продольное поле, определенное по классическому методу Бэбкока, оказывается в два раза большим, чем определенное методом регрессии, разработанным Баньюло и др. [34].

В работе Романоюка и др. [35] рассмотрены химически пекулярные звезды в ассоциации Орион OB1. Выделено 85 CP-звезд 814 объектов звездного населения ассоциации. Доля CP-звезд падает с возрастом от 15.1% в самой молодой подгруппе ассоциации (b) до 7.7% в наиболее старой (a). Приводятся комментарии для каждой из 85 CP-звезд. Было найдено, что двадцать три выделенные Ap-звезды находятся на расстоянии от 100 до 300 пк от Солнца. По-видимому, это объекты переднего плана, не принадлежащие ассоциации. Мы отождествили 59 Vp-звезд в ассоциации, что составляет 13.4% от всех V-звезд в ней. Ассоциация содержит 22 магнитные звезды, среди которых 21 Vp-звезда и одна Ar-звезда. В работе найдено, что доля двойных равна 20%, что является типичным значением для магнитных Ap/Vp звезд.

В течение 2013–2014 гг. на 6-м телескопе были проведены дополнительные спектрополяриметрические наблюдения, позволившие получить зеемановские спектры всех Vp-звезд в ассоциации

Орион ОВ1. Это позволило существенно дополнить результаты работы [35]. Обобщение всех полученных результатов представлено в работе Романиюка и др. [16]. Показано, что в ассоциации Орион ОВ1 насчитывается 33 магнитные звезды, одиннадцать из которых были найдены авторами на 6-м телескопе. Очень сильные поля, продольный компонент B_e которых превышает 3 кГс, наиболее часто встречаются среди горячих Вр-звезд. Но это не является общим правилом: известно несколько холодных магнитных звезд с сильными полями. Продемонстрировано, что в настоящее время наибольшее количество магнитных звезд найдено в ассоциации Орион ОВ1 — 33, далее по ниспадающей: в Скорпионе—Центавре — 19, и в Плеядах — 9. Типичное количество — это 2–3 СР-звезды в скоплении, из них может быть одна магнитная. Доля членов скоплений разного возраста очень различна для Ар- и Вр-звезд. Например, если взять 28 Вр-звезд с самыми сильными полями ($\max B_e > 3$ кГс), то 17 из них (60.7%) — члены скоплений и ассоциаций (включая шесть звезд в Орионе и пять — в Скорпионе—Центавре). Только три Ар-звезды из тринадцати с наибольшими полями (23.1%) являются членами скоплений и ассоциаций. Таким образом, можно сделать вывод, что Вр-звезды с сильными полями являются членами скоплений, а Ар-звезды — это в основном объекты поля.

В работе Семенко и др. [36] сообщается об открытии сильного магнитного поля в двойной системе HD 34736. Магнитное поле объекта было найдено в результате выполнения спектрополяриметрического обзора всех пекулярных звезд в ассоциации Орион ОВ1. Постановка задачи описана в статье [35]. HD 34736 является членом ассоциации Орион ОВ1, подгруппа (с). Проведенные на 6-м телескопе наблюдения показали наличие очень сильного, до 4500 Гс, продольного переменного магнитного поля. Переменная лучевая скорость указывает на то, что звезда является двойной короткопериодической системой. Период вращения и орбитальный период не найдены. Обнаружены линии второго компонента. Магнитной звездой является главный компонент — звезда с эффективной температурой $T_e = 13\,700$ К, эффективная температура спутника $T_e = 11\,500$ К.

Продолжение исследований HD 34736 описано в работе [37]. Новые данные были получены на протяжении трех ночей в марте 2014 г. Магнитный мониторинг звезды показывает очень быстрые изменения продольной компоненты поля с характерным временем порядка одних суток. Наличие сильного поля подтверждено. Профили спектральных линий очень сложные. Оценки поля, полученные разными методами, отличаются: метод регрессии

показывает в два раза меньшую его величину, чем классический метод Бэбкока. Но разброс данных, полученных методом регрессии, значительно меньше. Лучевая скорость звезды также изменяется с характерным временем порядка одних суток.

И еще одна работа, выполненная на 6-м телескопе, посвящена изучению магнитных полей В-звезд [38]. В ней приведены результаты измерений магнитных полей четырех поздних Вр-звезд спектральных классов В6–В9: HD 35298, HD 34736, HD 17330, HD 188501. Найдены эффективные температуры и ускорения силы тяжести каждого из объектов.

В работе [39] представлены результаты фотометрических и магнитных наблюдений долгопериодической Ар-звезды HD 9996. Авторы подтверждают найденный ранее период вращения звезды 21.7 лет.

Практически теми же авторами была выполнена работа [40] по исследованию долгопериодической переменности звезды γ Eri с использованием собственных и литературных данных. Примечательно, что величина получаемого периода постепенно растет со временем (от 70 лет в эпоху Бэбкока до почти 100 лет в наше время). В реферируемой работе период вращения звезды определяется в 97 лет. Поскольку звезда не совершила за время наблюдений (с начала 1950-х) даже одного оборота вокруг оси вращения, определение точного периода кажется преждевременным.

Валявин [41] выполнил краткий исторический обзор изучения магнитных полей белых карликов и привел новые результаты. К настоящему времени найдено около 800 магнитных белых карликов с сильными полями. Большинство из них имеют крупномасштабные дипольные поля. Наиболее сильные поля встречаются среди холодных белых карликов с температурами ниже 20 000 К. Обсуждаются вопросы о нижней границе магнитного поля, о вращении и переменности белых карликов.

В работе [42] представлены результаты фотометрических и спектральных наблюдения четырех быстро осциллирующих Ар-звезд. Фотометрические наблюдения выполнялись на протяжении 22 ночей в обсерватории Manora Peak (India), спектральные — на 6-м телескопе САО РАН. Определены физические параметры и химический состав атмосфер, а также эволюционный статус каждого из объектов. Попытки обнаружить магнитное поле не привели к успеху: верхний предел продольного поля — 500 Гс.

В работе [43] обсуждаются вопросы переменности профилей линий массивных звезд (О- и В-звезд ГП и звезд типа Вольфа—Райе). Авторами отмечается регулярная переменность на временах

от нескольких часов до суток. Исследуемые вариации могут быть вызваны вращательной модуляцией, нерадиальными пульсациями и мелкомасштабными неоднородностями в расширяющейся атмосфере. Составлен каталог магнитных OB-звезд. Его анализ показывает, что магнитные поля звезд распределены по степенному закону, и что в среднем магнитные поля O-звезд на порядок слабее магнитных полей B-звезд.

Холтыгин [44] предлагает новый метод измерения магнитных полей, основанный на соотношениях между V -параметром Стокса и первой производной профиля интенсивности. Метод протестирован по спектрополяриметрическим данным звезды θ^1 Ori C.

В работах Валявина и др. [45, 46] описан проект нового волоконного эшелюного спектрополяриметра, разрабатываемого для сверхточных наблюдений магнитных полей на 6-м телескопе САО РАН. Предполагается работать с использованием высокого спектрального разрешения ($R \approx 80\,000$). Основное назначение спектрополяриметра — проведение наблюдений магнитных полей звезд различных типов с рекордно высокой точностью (порядка 1 Гс). Крупномасштабные магнитные поля, по величине сравнимые с общим магнитным полем Солнца, могут присутствовать у всех звезд. Это открывает новые возможности для исследования магнетизма звезд Галактики. Ожидаемая точность определения лучевых скоростей — порядка 1 м с^{-1} , поэтому прибор можно будет также использовать для поиска внесолнечных планет.

В работе [47] представлены результаты новых спектрополяриметрических наблюдений на 6-м телескопе звезды FK Com с целью измерения величины продольного магнитного поля. Звезда FK Com (HD 117555) является прототипом одиночных быстро вращающихся хромосферно-активных звезд спектральных классов G–K. Число звезд этого типа крайне мало — всего три объекта. Циклы активности FK Com лежат в интервале времени от 4.5 до 6.1 лет. В литературе приведены сведения о том, что в 2008 г. у звезды было зарегистрировано поле величиной порядка +60 Гс. В наблюдениях 2012 г. на БТА поле не обнаружено. Возможно, оно есть, но сильно сдвинуто в сторону отрицательных значений. Возможно, присутствует вековая переменность поля. В качестве гипотезы приводится предположение, что изменения кривой вызваны усилением пятна отрицательной полярности и в целом более симметричным распределением магнитных областей.

В работе Романока и др. [48] представлены измерения магнитных полей 39 химически пекулярных звезд и трех нормальных звезд ГП, выполненные на 6-м телескопе в 2007 г. Зеемановские измерения для восьми звезд выполнены впервые.

Найдены две новые магнитные звезды. Анализ точности измерений продольного магнитного поля звезд подтверждает, что систематические ошибки не превышают 10–20 Гс и находятся в пределах указанных в работе ошибок измерений.

В работе Валявина и др. [49] показано, что изолированные холодные белые карлики чаще имеют сильные магнитные поля, чем более горячие белые карлики. Некоторые белые карлики с сильными полями показывают переменность блеска с вращением, что может быть интерпретировано как температурная или химическая неоднородность в виде большого пятна. Описываются фотометрические и магнитные наблюдения холодного магнитного белого карлика WD 1953–11 на протяжении восьми лет. Авторы приходят к выводу, что магнитное поле подавляет конвекцию, что приводит к появлению темного пятна в области с наиболее сильным магнитным полем. Также делается заключение, что сильное магнитное поле может подавить конвекцию на всей поверхности белого карлика, поэтому сильные магнитные поля чаще встречаются среди холодных белых карликов.

4. ПОЛЯ СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЫ И КАРТИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ CP-ЗВЕЗД

4.1. Магнитные CP-звезды

В работе Silvester et al. [50] представлены результаты картирования поверхности хорошо известной магнитной звезды α^2 CVn. Выполнены наблюдения с высоким спектральным разрешением (I, Q, U, V -спектры) на спектрополяриметрах ESPaDOnS и NARVAL в 2006–2010 гг. Звезда многократно изучалась методами доплер-зеемановского картирования, в том числе и авторами упомянутой статьи. Десятью годами ранее ими были построены магнитные карты на основании наблюдений со спектрополяриметром MuSiCoS. Новые карты построены по сильным линиям железа, слабым линиям железа и линиям хрома. Отмечается очень хорошее совпадение новых и старых карт. В согласии с предыдущим картированием найдено, что магнитное поле α^2 CVn может быть в целом представлено диполем. Но имеется и субструктура, которую нельзя объяснить в виде мультиполя низкого порядка.

Анализ высокоточных спектрополяриметрических наблюдений α^2 CVn, начатый в работе [50], был продолжен авторами в работе [51]. Основное внимание было уделено изучению распределения различных химических элементов по поверхности звезды. С помощью новых магнитных карт и новых определений химического состава авторы попытались изучить взаимосвязь между полем и распределением элементов. Применялось более высокое

спектральное разрешение ($R = 65\,000$). Химические карты были получены для девяти элементов: O, Si, Cl, Ti, Cr, Fe, Pr, Nd и Eu. При вычислениях использовалась программа *INVERS 10*. Найдено разное распределение химических элементов по поверхности, однако можно выделить две группы. В одной из них элементы аккумулируются близко к отрицательной части радиального поля, а другая группа показывает повышенное содержание в области, где радиальное поле имеет величину около 2 кГс независимо от полярности. Сравнение с более ранними картированиями показывает отсутствие значимых различий, за исключением железа и хрома. Авторы также обнаружили, что отсутствует согласие с теоретическими предсказаниями. Это означает, что нет теоретического понимания причин возникновения горизонтальных неоднородностей химического состава Ар-звезд.

В работе Русомарова и др. [52] представлены результаты наблюдений I, Q, U, V -параметров Стокса звезды HD 24712 на спектрополяриметре HARPSpol в 2010–2011 гг. Получено 43 индивидуальных измерения всех параметров Стокса. Для определения магнитного поля использовалась LSD-методика. Продольное поле определялось по усредненному LSD V -параметру Стокса. Линейную поляризацию авторы искали по Q - и U -профилям. Они также измерили продольное поле по ядрам водородных линий $H\alpha$ и $H\beta$. Признаков существенного радиального градиента поля в атмосфере не найдено. По мнению авторов, поле по большей части можно описать диполем, но в некоторых фазах периода имеются значимые различия. Найдена также вращательная модуляция ядра $H\alpha$, и авторы связывают ее с неоднородным распределением редких земель по поверхности.

Кочухов и др. [53] изучили магнитную топологию химически пекулярной звезды CU Vir. Это один из наиболее быстрых ротаторов среди CP-звезд: период вращения 0^d52 . На спектрографе NARVAL были проведены спектрополяриметрические наблюдения с высоким разрешением, покрывающие весь период вращения звезды. Для анализа данных использовался метод LSD и новая программа ZDI (Zeeman–Doppler Imaging), позволяющая анализировать усредненные по методу LSD V -профили Стокса. Построены карта магнитного поля и карта распределения Si and Fe по поверхности. Средний профиль поляризации обоих элементов показывает существенные отличия магнитной топологии CU Vir от обычно принимаемой осесимметричной дипольной конфигурации. Магнитное поле CU Vir похоже на дипольное, но явно не осесимметрично: наблюдается большая разница в величине поля между областями с разной полярностью. Области пониженной концентрации Si и Fe совпадают с областями слабого поля на магнитной карте.

В другой работе Кочухова и др. [54] исследуется магнитная топология и распределение химических пятен на поверхности Ар-звезды HD 75049. Наблюдаемое на ее поверхности поле $B_s = 30$ кГс — одно из наиболее сильных для невырожденных звезд. Спектрополяриметрический мониторинг I, V -параметров Стокса выполнен на спектрополяриметре HARPSpol. В результате анализа спектров уточнен период вращения звезды (4^d04) и найдены параметры атмосферы. Доплер-зеемановское картирование показывает, что магнитное поле звезды полоидальное, с решающим вкладом дипольной компоненты, с максимальной величиной поля на поверхности 39 кГс. В то же время наблюдаются существенные отличия от классической дипольной конфигурации. Карты распределения Si, Cr, Fe и Nd показывают контраст от 0.5 dex до 1.4 dex, что плохо согласуется с химическим составом многих других Ар-звезд. Неодим скапливается в области магнитных полюсов, в то время как Si и Cr концентрируются в области магнитного экватора. Содержание железа показывает слабый контраст и в полярной области, и на экваторе. Морфология магнитного поля и распределение пятен по поверхности количественно согласуются с аналогичными параметрами для звезд с более слабыми полями. Это значит, что механизм формирования глобального поля и пятен химического состава для звезд ГП промежуточных масс одинаков при полях разной величины.

Якунин и др. [55] в рамках проекта MiMeS исследовали магнитное поле и распределение химических элементов по поверхности звезды с усиленными линиями гелия HD 184927. Спектрополяриметрические наблюдения выполнены на ESPaDOnS. Были промоделированы оптический и ультрафиолетовый спектры и найдены параметры атмосферы. Продольное магнитное поле, полученное по линиям водорода, гелия и металлов, очень сильно различается по величине. Магнитное картирование, выполненное по линиям гелия и кислорода, показывает очень сильное неоднородное распределение этих элементов по поверхности. Магнитное поле может быть дипольным или квадрупольным. Линии C IV и Si IV модулируются вращением, в то время как линия $H\alpha$ стабильна. Делается заключение, что HD 184927 имеет магнитосферу типа центрифуги, в которой вещество движется от центра звезды к периферии.

Халак и Ландстрит [56] исследовали частичный Пашен–Бак-эффект при расщеплении линий Si II и Si III в магнитных звездах. Многие заметные линии в спектрах магнитных CP-звезд представляют собой дублеты или триплеты. В зависимости от величины и ориентации поля расщепление при частичном эффекте Пашена–Бака может существенно отличаться от того, что рассчитывается при

простом эффекте Зеемана. Для выяснения вклада этих отклонений было выполнено численное моделирование некоторых линий Si II и Si III. Поправки необходимо учитывать в случае если $B_p > 6\text{--}10$ кГс и $v \sin i < 15$ км с⁻¹.

В работе [57] исследуется проблема измерений поверхностных магнитных полей по неразрешенным зеемановским компонентам. Цель работы — поиск магнитных полей по накопившимся в архивах спектрам высокого разрешения. Для каждой звезды поле было измерено по расщеплению линии Fe II 6149 Å, выполнено сравнение дифференциального уширения линий с большими и малыми факторами Ланде. Получена зависимость, по которой можно найти поле в случае, если расщепления не видно. Метод применим для медленных ротаторов с $v \sin i < 50$ км с⁻¹ и для полей $B_s > 5$ кГс.

4.2. Магнитные поля других звезд главной последовательности

Важность учета нефотонного шума в звездной спектрополяриметрии проанализирована в работе Баньюло и др. [58]. В ней детально изучены различные нестабильности спектрополяриметра низкого разрешения FORS1, при помощи которого ранее было открыто магнитное поле сверхгиганта HD 92207. Показано, что это открытие является ошибочным. Наблюдения авторов, выполненные на FORS2, показывают отсутствие поля свыше 100 Гс, а наблюдения с высоким разрешением на HARPSpol — отсутствие поля величиной более 10 Гс. Сделан вывод, что FORS1 не стоит использовать при поиске очень слабых полей из-за его механической нестабильности. Не всегда материал, полученный с очень высоким отношением S/N , но с низким разрешением, гарантирует столь же высокую точность измерений поля.

До настоящего времени магнитные поля холодных активных звезд изучались только методами анализа циркулярной поляризации. Включение данных линейной поляризации в реконструкцию звездных магнитных полей дает много новой информации о них и существенно улучшает надежность магнитных карт. В работе [59] найдена сильная линейная поляризация у холодной активной звезды II Peg. Для поиска линейной поляризации были выбраны четыре активных звезды типа RS CVn: II Peg, HR 1099, IM Peg и σ Gem. Наблюдения проводились на ESPaDOnS в 2012–2013 гг. Для анализа данных использовался LSD-метод. Линейная поляризация была найдена у всех четырех звезд хотя бы в одном наблюдении, но звезда II Peg показала очень сильную и переменную линейную поляризацию для всех моментов наблюдений. Это очень хороший объект для будущих магнитных картировок.

В работе [60] представлена новая программа доплер-зеемановского картирования, способная восстановить параметры магнитной модели звезды в случае нецентрально-дипольной морфологии, либо в конфигурации диполь + квадруполь.

В работе [61] впервые найдены звездные пятна на Вега — первое спектральное обнаружение поверхностной структуры на нормальной звезде. Авторы отмечают, что недавно на Вега были обнаружены очень слабые магнитные поля, что потенциально может означать наличие структуры поверхности. Был проведен мониторинг Веги с высоким спектральным разрешением ($R = 75\,000$) в течение пяти ночей. Для изучения профилей линий применялось несколько методов. Представлено открытие звездного пятна с контрастом 0.05%. Вращательная модуляция спектральных линий происходит с периодом 0^d68. Это подтверждает результаты предыдущих спектрополяриметрических исследований. Первое убедительное свидетельство того, что стандартная звезда спектрального класса A имеет сложную структуру поверхности, открывает новое направление исследований и задает вопрос о потенциальной связи между недавно открытыми слабыми магнитными полями и топологией поверхности у звезд такого типа.

В работе [62] сообщается о первом наблюдении магнитного поля у звезды типа Миры — χ Cyg. Главная цель работы — поиск магнитного поля и определение различий в величине поля в зависимости от радиуса звезды от фотосферы до околосредней оболочки. Использовались результаты спектрополяриметрических наблюдений, проведенных с помощью NARVAL. Измерения поля проводились LSD-методом. Наблюдения χ Cyg были выполнены в фазе периода, близкой к максимуму блеска. В спектрах был обнаружен сигнал V -параметра Стокса, причиной которого является эффект Зеемана. Установлено наличие слабого магнитного поля в фотосфере и нижней части атмосферы величиной 2–3 Гс (продольная компонента). Магнитное поле уменьшается с высотой до межзвездной среды по закону $1/r$. Это первое обнаружение слабого магнитного поля у мириды. Обсуждается его происхождение в модели ударной волны, периодически проходящей через атмосферу этой радиально пульсирующей звезды. Отмечаются также сильные проявления Q - и U -параметров Стокса, указывающие на линейную поляризацию.

Работа [63] представляет собой проект по поиску магнитных полей молодых звезд солнечного типа. Известно, что у них имеет место быстрое падение скорости вращения с возрастом. Это приводит к мысли о возможно большой роли механизма динамо в этом процессе, что влияет на эволюцию магнитных полей таких объектов. Авторы

приводят результаты исследования шести звезд из скоплений, чей возраст хорошо известен: три из них принадлежат ассоциации β Pic (около 10 млн лет) и три — ассоциации AB Dog (примерно 100 млн лет). Для изучения поведения магнитного поля были построены карты методом ZDI. Несмотря на сходство физических параметров звезд, были обнаружены различия в величине поля от 40 до 180 Гс. Найден слабый тренд в изменении величины поля с периодом вращения и с возрастом. В дальнейшем предполагается продолжить проект для изучения звезд в старых скоплениях, чтобы увеличить диапазон исследуемых возрастов.

В работе [64] представлены результаты наблюдений в 2006–2013 гг. более 150 звезд солнечного типа с помощью NARVAL и ESPaDOnS. Магнитное поле найдено у 40% объектов при высокой доле обнаружения у наиболее молодых звезд. Авторы определили величину среднего поверхностного поля (или ее верхний предел) и обнаружили сильную корреляцию величины поля с хромосферной активностью: поле увеличивается со скоростью вращения и падает с возрастом.

В работе [65] найдено крупномасштабное продольное магнитное поле (от 0 до 12 Гс) у карлика типа G0 HD 206860 — центра молодой планетной системы с возможным диском из обломков. Измерена также хромосферная активность по линиям Ca II.

В работе Lignieres et al. [66] рассматриваются различия в сильных и слабых магнитных полях звезд промежуточных масс. Благодаря новым спектрополяриметрам точность измерений увеличилась на два порядка, и субгауссные поля были обнаружены у Веги и некоторых других звезд. Обсуждается вопрос о нижней границе магнитного поля Ap/Vp звезд и об отсутствии магнитного поля в интервале величин 1–100 Гс, т.е. о наличии «магнитной пустыни». В настоящее время невозможно достоверно утверждать, что все Ap/Vp звезды имеют магнитные поля, несмотря на то, что существует предположение о связи между полем и пекулярностями, о чем говорил еще Мишо в 1970 г. [67].

Aurière et al. [68] по 28 Ap/Vp звездам нашли, что нижняя граница поля Ap/Vp звезд существует и соответствует примерно 100 Гс для продольного поля (или 300 Гс на полюсе диполя). Это согласуется с идеей, что необходимо минимальное поле, при котором могут образоваться аномалии, но для достоверности такого утверждения статистических данных еще недостаточно. Если же «магнитная пустыня» действительно существует, то мы приходим к важным выводам. Первый из них: Ap/Vp-звезды представляют собой отдельный класс A- и B-звезд, у которых сформировались

крупномасштабные магнитные поля. Слабые крупномасштабные магнитные поля в десятки Гаусс не наблюдаются.

Таким образом, есть проблема: почему только 10% звезд промежуточных масс обладают крупномасштабными магнитными полями? Далее следует «магнитная пустыня». За ней обнаруживаются сверхслабые магнитные поля не Ap/Vp-звезд (например, у Веги). Поле Веги было найдено путем сложения 800 индивидуальных спектров. Сигнал V-параметра Стокса составил $V/I = 10^{-5}$ при уровне шума 2×10^{-6} , что соответствует полю -0.6 ± 0.3 Гс. Авторы доказывают, что возможность ложного нахождения поля у Веги чрезвычайно маловероятна. Другая звезд — Сириус A — Am-звезда с низкой скоростью вращения. У нее тоже найдено поле порядка 1 Гс. Авторы выдвигают идею: существует Ap/Vp-магнетизм, затем следует «магнитная пустыня», а далее — «Vega-like-магнетизм». Предлагаются различные варианты объяснений.

В большой работе Aurière et al. [69] обсуждаются магнитные поля и поверхностная активность одиночных G–K гигантов. Было исследовано магнитное поле 48 красных гигантов. Наблюдения выполнялись на спектрополяриметрах ESPaDOnS и NARVAL; для определения поля использовался метод LSD. Измерялся также классический индикатор активности — S-индекс. Признаки магнитного поля были найдены у 29 из 48 гигантов. Более подробное изучение 16 гигантов с известными периодами вращения показало, что измеренное магнитное поле тесно коррелирует со свойствами вращения, в частности, с числом Россби. Полученные результаты указывают на то, что магнитное поле генерируется здесь при помощи динамо. В дополнение к найденному ранее слабому полю у Поллукса были найдены поля на субгауссном уровне еще для четырех ярких гигантов: Альдебаран, Альфард, Арктур и η Psc.

В работе [70] найдено ультраслабое магнитное поле у двух Am-звезд: β UMa и θ Leo. Наблюдения выполнялись на NARVAL. Использовался метод LSD. Получено поле на уровне 1 Гс. Это значит, что, по крайней мере, у существенной части Am-звезд такое поле наблюдается.

5. ДВОЙСТВЕННОСТЬ МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД ПРОМЕЖУТОЧНОЙ МАССЫ

Двойные магнитные звезды уже упоминались в нашем обзоре, но мы решили выделить отдельно работы, в которых двойственность изучалась специально. Разными авторами использовались разные методы исследования. Здесь мы рассмотрим

несколько работ, выполненных интерферометрическим методом.

В работе [71] на 6-м телескопе выполнена спекл-интерферометрия 156 магнитных CP-звезд в период с 2010 по 2012 гг. Тридцать четыре звезды были разделены на индивидуальные компоненты (тридцать одна двойная и три тройных). Из них четырнадцать двойных систем (BD +41°43, HD 28887, HD 30466, HD 36540, HD 36955, HD 37479, HD 61045, HD 89069, HD 144334, HD 164258, HD 349321, HD 343872, HD 184471, HD 196691) и две тройные системы (HD 37140 и HD 338226) разделены впервые астрометрическим методом.

В работе Балеги и др. [72] исследованы физические свойства компонентов массивной магнитной двойной системы θ^1 Ori C. Получено тридцать спектроскопических измерений лучевых скоростей и двадцать восемь спекл-интерферометрических наблюдений на 6-м телескопе САО РАН. Эти данные были использованы для построения 3D-орбиты. Общая масса системы $50.7 \pm 10.6 M_{\odot}$, массы компонентов: первичного — $37.6 \pm 5.2 M_{\odot}$, и вторичного — $13.1 \pm 3.0 M_{\odot}$. Отношение масс $q = 0.33 \pm 0.02$. Однако точность параметров комбинированной орбиты низкая. Принципиальная трудность состоит в стохастической переменности линий поглощения магнитного первичного компонента, искаженных клочковатой структурой поглощающего материала в плоскости магнитного экватора.

В работе Шуляка и др. [73] рассматривается возможность спектральной интерферометрии поверхности химически пекулярных звезд — теоретические предсказания и возможности современных приборов. В статье проверена вероятность обнаружения химических пятен в атмосферах CP-звезд путем численного моделирования. Проведены расчеты возможности обнаружения типичных пятен на поверхности. На примере ближайшей и ярчайшей CP-звезды ϵ UMa показано, что для спектральной интерферометрии наилучшей является визуальная область. Химические пятна могут быть четко выделены, и наблюдается их передвижение по поверхности с вращением. Даны рекомендации для разработки новых интерферометров. Приведена таблица, содержащая информацию о звездах с наибольшими угловыми диаметрами, которые предлагаются для наблюдений в визуальной и ИК-областях спектра.

Folsom et al. [74] утверждают, что короткопериодические двойные, содержащие Ap-звезды, аномально редки. Это приводит к мысли, что тесная двойственность мешает образованию у них магнитных полей. Авторы наблюдали три близкие двойные системы, в которых предполагалось наличие Ap-звезд. У двух из этих систем (HD 22128

и HD 56495) они нашли Am-, но не Ap-звезды. Однако в третьей системе (HD 98088) главный компонент является Ap-звездой, а вторичный — Am-звездой. К тому же Ap-звезда находится близко ко вторичному компоненту, и преимущественно дипольное поле Ap-звезды направлено приблизительно на вторичный компонент. Будущие исследования HD 98088 планируются в рамках проекта VinaMIcS.

6. ВРАЩАТЕЛЬНАЯ, ОРБИТАЛЬНАЯ И БЫСТРАЯ ПЕРЕМЕННОСТИ МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД

У магнитных CP-звезд наблюдаются все виды переменности, связанной с вращением звезды: фотометрическая, спектральная и магнитная. Переменность объясняется в модели наклонного ротатора вращением химически неоднородной звезды. Кроме того, у самой холодной части Ap-звезд наблюдаются быстрые пульсации, не связанные с вращением. Типичный период таких пульсаций — от шести до пятнадцати минут. По результатам этих исследований публикуются десятки работ ежегодно. Рассмотрим лишь некоторые из них, наиболее близкие к теме нашего обзора.

В работе Паунзена [75] изучена переменность (или ее отсутствие) кандидатов в CP-звезды в Большом Магеллановом Облаке. Наблюдения выполнены в рамках обзора OGLE III. Использовались ранее опубликованные данные о двенадцати звездах, имеющих аномалии в континууме на 5200 Å. Авторы использовали разработанный ими стандартный периодограммный анализ для всех доступных данных. Были найдены всего две CP-звезды со слабой переменностью. Данные для других десяти CP-звезд были получены с низкой точностью, что не позволило подтвердить наличие у них переменности.

Елькин и др. [76] представили результаты анализа быстрой переменности Ap-звезды KIC 10195926, полученные на телескопе SUBARU. Авторы нашли, что звезда имеет небольшое сверхобилие (сравнимое с другими α -звездами). Пульсации найдены только в узком ядре линии H α с амплитудой 171 ± 41 м с⁻¹ и с частотой, соответствующей фотометрической частоте, полученной на телескопе Kepler.

Сачков [77] выполнил обзор по исследованию пульсаций химически пекулярных A-звезд. Показано, что значительный прогресс был достигнут в последнее время с помощью спутников CoRoT, Kepler, MOST, позволивших получить длительные высокоточные ряды фотометрических наблюдений. Были проведены спектральные наблюдения с высоким временным и спектральным разрешением.

В статье рассмотрены результаты исследований пульсаций разными методами, проведенных в последние годы.

Mathys [78] приводит некоторые результаты проекта по изучению звезд с расщепленными земановскими компонентами. В работе помещена таблица, в которой приведены сведения о двадцати звездах, для которых известны и орбитальный период, и период вращения. Все объекты холоднее спектрального класса В8 и имеют пекулярности типа SrCrEu. Ни в одном случае периоды не совпадают. Девять из этих звезд являются спектрально-двойными. Возможно, имеет место обратная зависимость между орбитальным и вращательным периодами. Одиннадцать из двенадцати несинхронизованных двойных с периодом вращения менее 50 суток имеют орбитальный период более 1000 суток. Для восьми систем из десяти с орбитальным периодом менее 1000 суток и периодом вращения $P_{\text{rot}} > 50$ суток период вращения оказывается большим, чем орбитальный. Обсуждаются различные возможные сценарии.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы выполнили анализ работ, опубликованных (в основном) в 2014 г. Видим, что исследования магнитных химически пекулярных и родственных им звезд ведутся очень активно и по многим направлениям. Были достигнуты впечатляющие результаты. Например, для ярких звезд магнитные поля надежно измеряются с точностью порядка единиц Гаусс. Не исключено, что поля величиной в 1 Гс имеют очень многие (если не все) звезды.

Опубликованы данные об обнаружении многих десятков новых магнитных звезд. Некоторые из них, например HD 34736, обладают уникальными характеристиками. Закончен большой наблюдательный проект MiMeS, в котором была выполнена спектрополяриметрия более 500 горячих O- и B-звезд главной последовательности. В результате выполнения этого проекта было установлено, что доля магнитных среди указанных объектов составляет 7%.

Картирование магнитных полей CP-звезд показало, что, хоть дипольный компонент и преобладает, топология поля значительно более сложная. Найдены первые CP-звезды за пределами нашей Галактики — в Большом Магеллановом Облаке.

Все больше доказательств получает идея, что сильными глобальными полями (величиной более 300 Гс) обладают только некоторые типы звезд, далее — «магнитная пустыня» (нет звезд с полями от 10 до 300 Гс), а магнитные поля величиной в единицы Гаусс — это широко распространенное явление. С другой стороны, дискуссия о том, найдено ли магнитное поле у Веги, продолжается.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит д-ра Luca Fossati за сотрудничество, сделавшее возможным написание данной статьи, и рецензента Евгения Семенко за полезные замечания. Автор благодарит Российский научный фонд за финансовую поддержку настоящей работы (грант РНФ 14-50-00043). Наблюдения на 6-метровом телескопе БТА проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.619.21.0004, идентификатор проекта RFMEFI61914X0004). В работе использованы сведения из астрономической базы данных NASA ADS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. W. Babcock, *Astrophys. J. Suppl.* **30**, 141 (1958).
2. I. I. Romanyuk, *Astronomische Nachrichten* **332**, 965 (2011).
3. I. I. Romanyuk, in *Putting A Stars into Context: Evolution, Environment, and Related Stars*, Ed. by G. Mathys, E. Griffin, O. Kochukhov, et al. (Pero, Moscow, 2014), p. 371.
4. S. Bagnulo, T. Szeifert, G. A. Wade, et al., *Astron. and Astrophys.* **389**, 191 (2002).
5. J.-F. Donati, M. Semel, B. D. Carter, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **291**, 658 (1997).
6. S. Bagnulo, J. D. Landstreet, E. Mason, et al., *Astron. and Astrophys.* **450**, 777 (2006).
7. J. D. Landstreet, S. Bagnulo, and L. Fossati, *Astron. and Astrophys.* **572**, A113 (2014).
8. J.-F. Donati, C. Catala, G. A. Wade, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **134**, 149 (1999).
9. M. Aurière, *EAS Publ. Ser.* **9**, 105 (2003).
10. J. Silvester, G. Wade, O. Kochukhov, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **426**, 1003 (2012).
11. V. E. Panchuk, G. A. Chuntunov, and I. D. Naidenov, *Astrophysical Bulletin* **69**, 339 (2014).
12. D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk, V. G. Elkin, and E. Paunzen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **372**, 1804 (2006).
13. A. V. Dodin, S. A. Lamzin, and G. A. Chuntunov, *Astrophysical Bulletin* **68**, 177 (2013).
14. N. Piskunov, F. Snik, A. Dolgoplov, et al., *Messenger* **143**, 7 (2011).
15. G. Wade and the MiMeS Collab., *ASP Conf. Ser.* **494**, 30 (2015).
16. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and I. A. Yakunin, *ASP Conf. Ser.* **494**, 15 (2015).
17. E. Paunzen, M. Netopil, H. M. Maitzen, et al., *Astron. and Astrophys.* **564**, A42 (2014).
18. E. Paunzen, I. Kh. Iliev, O. I. Pintado, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **443**, 2492 (2014).
19. M. Netopil, L. Fossati, E. Paunzen, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **442**, 3761 (2014).
20. E. Paunzen, K. T. Wraight, L. Fossati, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **429**, 119 (2013).
21. E. Alecian, O. Kochukhov, V. Petit, et al., *Astron. and Astrophys.* **567**, A28 (2014).

22. G. A. Wade, V. Petit, J. Grunhut, and C. Neiner, arXiv:1411.6165 (2014).
23. C. Neiner, A. Tkachenko, and MiMeS Collab., *Astron. and Astrophys.* **563**, L7 (2014).
24. C. P. Folsom, K. Likuski, G. A. Wade, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **431**, 1513 (2014).
25. G. A. Wade, C. P. Folsom, P. Petit, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **444**, 1993 (2014).
26. D. A. Bohlender and D. Monin, *IAU Symp.*, No. 302, 288 (2014).
27. D. Monin, D. Bohlender, T. Hardy, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **124**, 329 (2012).
28. S. Hubrig, I. Ilyin, M. Scholler, and G. Lo Curto, *Astronomische Nachrichten* **334**, 1093 (2014).
29. E. Alecian, G. A. Wade, C. Catala, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **429**, 1001 (2013).
30. J. F. Gonzalez, C. Saffe, F. Castelli, et al., *Astron. and Astrophys.* **561**, A63 (2014).
31. S. Hubrig, T. A. Carroll, J. F. Gonzalez, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **440**, L6 (2014).
32. J. D. Bailey, J. D. Landstreet, and S. Bagnulo, *Astron. and Astrophys.* **561**, A147 (2014).
33. I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **68**, 214 (2013).
34. S. Bagnulo, T. Szeifert, G. A. Wade, et al., *Astron. and Astrophys.* **389**, 191 (2002).
35. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, I. A. Yakunin, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **68**, 300 (2013).
36. E. A. Semenko, I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, and I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **69**, 191 (2014).
37. E. A. Semenko, I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, and I. A. Yakunin, *ASP Conf. Ser.* **494**, 51 (2015).
38. I. A. Yakunin, E. A. Semenko, I. I. Romanyuk, and M. E. Sachkov, *ASP Conf. Ser.* **494**, 86 (2015).
39. N. V. Metlova, V. D. Bychkov, L. V. Bychkova, and J. Madej, *ASP Conf. Ser.* **494**, 97 (2015).
40. V. D. Bychkov, L. V. Bychkova, and J. Madej, *ASP Conf. Ser.* **494**, 100 (2015).
41. G. G. Valyavin, *ASP Conf. Ser.* **494**, 107 (2015).
42. S. Joshi, E. Semenko, A. Moiseeva, et al., *ASP Conf. Ser.*, **494**, 210 (2015).
43. A. F. Kholtygin, S. Hubrig, G. G. Valyavin, et al., *ASP Conf. Ser.* **494**, 221 (2015).
44. A. F. Kholtygin, *ASP Conf. Ser.* **494**, 331 (2015).
45. G. G. Valyavin, V. D. Bychkov, M. V. Yushkin, et al., *Astrophysical Bulletin* **69**, 224 (2014).
46. G. G. Valyavin, V. D. Bychkov, M. V. Yushkin, et al., *ASP Conf. Ser.* **494**, 305 (2015).
47. V. B. Puzin, I. S. Savanov, I. I. Romanyuk, et al., *Astrophysical Bulletin* **69**, 321 (2014).
48. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **69**, 427 (2014).
49. G. G. Valyavin, D. Shulyak, G. A. Wade, et al., *Nature*, **515**, 88 (2014).
50. J. Silvester, O. Kochukhov, and G. A. Wade, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **440**, 182 (2014).
51. J. Silvester, O. Kochukhov, and G. A. Wade, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **444**, 1442 (2014).
52. N. Rusomarov, O. Kochukhov, N. Piskunov, et al., *Astron. and Astrophys.* **558**, A8 (2013).
53. O. Kochukhov, T. Luftinger, C. Neiner, et al., *Astron. and Astrophys.* **565**, A83 (2014).
54. O. Kochukhov, N. Rusomarov, J. Valenti, et al., *Astron. and Astrophys.* **574**, 79 (2014).
55. I. Yakunin, G. Wade, D. Bohlender, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **447**, 1418 (2014).
56. V. Khalack and J. D. Landstreet, *IAU Symp.*, No. 302, 284 (2014).
57. J. D. Bailey, *Astron. and Astrophys.* **568**, A38 (2014).
58. S. Bagnulo, L. Fossati, O. Kochukhov, and J. D. Landstreet, *Astron. and Astrophys.* **559**, A103 (2013).
59. L. Rosen, O. Kochukhov, and G. A. Wade, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **436**, L10 (2013).
60. A. J. Martin, S. Bagnulo, and M. Stift, *IAU Symp.*, No. 302, 300 (2014).
61. T. Bohm, M. Holschneider, F. Lignieres, et al., arXiv:1411.7789 (2014).
62. A. Lebre, M. Aurière, N. Fabas, et al., *Astron. and Astrophys.* **561**, A85 (2014).
63. C. P. Folsom, P. Petit, J. Bouvier, et al., *IAU Symp.*, No. 302, 110 (2014).
64. S. Marsden, P. Petit, S. Jeffers, et al., *IAU Symp.*, No. 302, 138 (2014).
65. S. B. Saikia, S. Jeffers, P. Petit, et al., *IAU Symp.*, No. 302, 146 (2014).
66. F. Lignieres, P. Petit, M. Aurière, et al., *IAU Symp.*, No. 302, 338 (2014).
67. G. Michaud, *Astrophys. J.* **160**, 641 (1970).
68. M. Aurière, G. A. Wade, J. Silvester, et al., *Astron. and Astrophys.* **475**, 1053 (2007).
69. M. Aurière, R. Konstantinova-Antova, C. Charbonnel, et al., *Astron. and Astrophys.* **574**, A90 (2015).
70. A. Blazère, P. Petit, F. Lignières, et al., in *Proc. Ann. Meet. French Soc. Astron. Astrophys. SF2A-201*, Ed. by J. Ballet, F. Martins, F. Bournaud, et al., p. 463 (2014).
71. D. A. Rastegaev, Yu. Yu. Balega, V. V. Dyachenko, et al., *Astrophysical Bulletin* **69**, 296 (2014).
72. Yu. Yu. Balega, E. L. Chentsov, A. Kh. Rzaev, and G. Weigelt, *ASP Conf. Ser.* **494**, 57 (2015).
73. D. Shulyak, C. Paladini, G. Causi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **443**, 1629 (2014).
74. C. P. Folsom, G. A. Wade, K. Likuski, et al., *IAU Symp.*, No. 302, 313 (2014).
75. E. Paunzen, Z. Mikulasek, R. Poleski, et al., *Astron. and Astrophys.* **556**, A12 (2013).
76. V. G. Elkin, D. W. Kurtz, H. Shibahashi, and H. Saio, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **444**, 1344 (2014).
77. M. E. Sachkov, *Astrophysical Bulletin* **69**, 40 (2013).
78. G. Mathys, in *Putting A Stars into Context: Evolution, Environment, and Related Stars*, Ed. by G. Mathys, E. Griffin, O. Kochukhov, et al. (Pero, Moscow, 2014), p. 112.

Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars. I. Main Results of 2014 and Near-Future Prospects

I. I. Romanyuk

We make a critical analysis of the results of studies of magnetic fields in chemically peculiar and related stars, published mostly in 2014. Methodological matters are discussed, and research results are analyzed. Most of the measurements of magnetic fields were obtained with well-known instruments. In 2014 a large observational project MiMeS was accomplished, the observations of more than 500 objects were performed, magnetic fields were found in 35 of them. Twenty new magnetic stars have been detected from the observations with the SAO RAS 6-m telescope. Regular measurements of magnetic fields with an accuracy of units of gauss are conducted on a number of telescopes using the HARPS, ESPaDOnS, and NARVAL spectropolarimeters. The fields of complex topology have been studied, magnetic maps have been built, a connection with the distribution of anomalies of chemical composition has been found. The debate about the existence of a magnetic field of about 1 G in Vega and some other objects is ongoing. Apparently, the absence of a large-scale magnetic field greater than tens of gauss in the mercury-manganese and Am stars is confirmed. First CP stars were detected outside the Galaxy, in the Large Magellanic Cloud. Observations of magnetic fields in solar-type stars are continued, a strong correlation between the field strength and the degree of chromospheric activity was discovered.

Keywords: stars: chemically peculiar—stars: magnetic field