

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Валявин Геннадий Геннадьевич

**Исследование магнетизма и эволюции конвективно-
спокойных звезд с крупномасштабными магнитными
полями**

Специальность: 1.3.1. Физика космоса, астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Москва - 2025

Работа выполнена в Лаборатории звездного магнетизма Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

**Официальные
оппоненты** – Сулейманов Валерий Фиалович
доктор физико-математических наук,
научный сотрудник Института астрономии и астрофизики
Университета Тюбингена, Германия

Сачков Михаил Евгеньевич
доктор физико-математических наук,
директор Института астрономии Российской академии
наук, профессор РАН

Демидов Михаил Леонидович
доктор физико-математических наук,
Заведующий лабораторией солнечной активности
Института солнечно-земной физики Сибирского
отделения Российской академии наук

Защита состоится 03 апреля 2025 года в 13 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.013.1 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: 119234, Москва, Университетский проспект, д. 13, конференц-зал.

E-mail: dissovet@sai.msu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В.Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3319> .

Автореферат разослан 24 января 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор физико-математических наук

А. И. Богомазов

Общая характеристика работы

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Пока вещество Вселенной находится преимущественно в ионизованном состоянии, электрические поля, токи и сопутствующие им магнитные поля будут оставаться, наряду с гравитацией, важнейшими источниками полевых взаимодействий, формирующих сценарии рождения и характер эволюции космических тел. Магнитные поля межзвездной среды регулируют процессы звездообразования. Магнитные поля звезд и планет влияют на процессы их эволюции, изменяя структуры их внешних слоев и создавая специфические радиационные условия в их окружениях. Генерируемые Солнцем локальные сильномагнитные структуры, взаимодействуя друг с другом, индуцируют вспышечные процессы высокой энергетики, что, в свою очередь, оказывает непосредственное влияние на радиационный фон вокруг планет и эволюцию жизни на Земле.

Другой пример того, как магнитные поля могут влиять на эволюцию космических тел, связан с сильно намагниченными звездами-белыми карликами, имеющими на своих поверхностях поля очень высокой напряженности – от нескольких мегагаусс и выше. Сравнение энергетических бюджетов вещества внешних слоев таких звезд с энергиями их поверхностных магнитных полей указывает на то, что сильномагнитные белые карлики могут иметь физические свойства, существенно отличные от свойств их слабомагнитных аналогов. Если это так, то в этом случае различие в физических свойствах структур теплопроводящих слоев магнитных и немагнитных вырожденных звезд приведет к различиям и в особенностях их тепловой эволюции.

Весьма интересным является также тот факт, что наличие магнитных полей у звезд дополняет исследование звездной эволюции новыми наблюдательными характеристиками и величинами. В частности, магнитометрия обеспечивает точные измерения периодов вращений звезд, что крайне важно в исследованиях эволюции моментов их вращений (подробности с соответствующими ссылками см. в тексте диссертации). Наблюдательные исследования магнитных свойств атмосфер звезд дают возможность оценивать темп и характер их эволюции. Исследования геометрий магнитосфер звезд также может дать информацию о возрасте звезды и т. д.

Исследования звезд-белых карликов (БК) имеют фундаментальное значение, поскольку эти вырожденные звезды представляют собой завершающую стадию эволюции более 90% всех звезд. В целом физические свойства и эволюция БК изучены достаточно хорошо, однако есть целый ряд проблем, требующих решения. В частности, не вполне понятна физика группы изолированных белых карликов с сильными (от нескольких десятков килогаусс до почти гигагаусса) крупномасштабными магнитными полями (МБК: Angel et al., 1981; Schmidt, Smith, 1995; Liebert et al., 2003; Valyavin et al., 2003; 2006; 2014; Aznar Cuadrado et al., 2004; Kepler et al., 2013). Первая проблема связана с происхождением таких магнитных белых карликов (МБК). Ранние исследования (Angel et al., 1981) показали, что МБК являются потомками магнитных Ap/Bp-звезд. Более поздние исследования, однако, показали, что предшественники не ограничены лишь этим классом звезд (Liebert et al., 2003; Kawka, Vennes, 2004; Wickramasinghe, Ferrario, 2005).

Вторая проблема связана с эволюцией глобального магнитного поля за время жизни МБК. В работах Liebert, Sion (1979), Fabrika, Valyavin (1999a; 1999b), Valyavin, Fabrika (1999), Liebert et al. (2003) показано, что магнитное поле МБК проявляет некоторые особенности во время его эволюции. Одной из таких особенностей является тот факт, что МБК с сильными полями

проявляют тенденцию к увеличению доли их встречаемости с возрастом. Это противоречит гипотезе о том, что магнитные поля БК затухают со временем (Wendell et al., 1987).

Все эти проблемы ждут своего разрешения с привлечением более точных магнитометрических исследований уже существующих МБК и с поиском новых звезд этого класса с малыми магнитными полями. В то время как в области величин магнитных полей более одного мегагаусса выборка известных МБК уже достаточно полна (см., например, Kepler et al., 2013), в области магнитных полей слабее одного мегагаусса выборка МБК до сих пор находится на уровне лишь десятка известных объектов. Для более 80% известных БК до сих пор не имеется никаких данных о величинах их магнитных полей, что создает значительный селекционный барьер для статистических исследований происхождения и эволюции магнитных полей белых карликов. В настоящей работе, в частности, поставлен вопрос об увеличении статистики известных белых карликов с магнитными полями слабее одного мегагаусса.

Чтобы лучше понять происхождение магнитных полей звезд, интересно также охватить магнитометрическими наблюдениями группы горячих субкарликов – звезд, которые эволюционно еще только спускаются в последовательность БК, и звезд Главной последовательности холоднее А/В для проверки наличия у них крупномасштабных магнитных полей. В работе Wickramasinghe, Ferrario (2005) высказано сомнение в том, что МБК являются продуктами эволюции только Аp/Вp-звезд с сильными глобальными магнитными полями. Раз так, то и среди более холодных звезд спектральных классов F и более поздних должны быть звезды со значительными (от десятков-сотен килогаусс и более) глобальными магнитными полями. Среди них наиболее интересными являются звезды, находящиеся на границе между конвективно-активными звездами

солнечного типа (поздние F и более поздние) и конвективно-спокойными (ранние F и более ранние). Наличие звезд с глобальными магнитными полями среди поздних F-звезд разрешило бы обозначенную Викрамасингом и Феррарио проблему происхождения МБК.

О возможности существования глобальных магнитных полей у горячих субкарликов уже однажды сообщалось (Elkin, 1996), однако вопрос до сих пор остается открытым. Важность исследований горячих субкарликов в теории звездной эволюции обусловлена тем фактом, что они демонстрируют различные эволюционные каналы на пути к стадии БК (Greenstein, Sargent, 1974), и поэтому интересны для изучения. Поиск магнитных полей среди таких звезд поможет понять магнитную природу МБК малых и средних масс, которые потенциально могут быть продуктами эволюции субкарликовых звезд. В частности, интересно исследование неоднородной группы sdO-звезд (Maxted, 2004, и ссылки там), в которой было обнаружено, что около 65% из объектов этой группы могут быть неразрешенными двойными системами, что в свою очередь дает возможность рассмотреть “нереликтовую” гипотезу динамо-генерации магнитных полей на звездах.

Таков лишь краткий перечень проблем, послуживший мотивацией для проведения программы магнитометрических и теоретических исследований вышеупомянутых звезд. Приведенные примеры иллюстрируют как степень разработанности, так и актуальность проблем, связанных с изучением звездного магнетизма в контексте фундаментальных исследований звездной эволюции. Настоящая диссертация затрагивает значительную часть этих проблем и является компиляцией более чем двадцатилетнего опыта работы автора в исследованиях магнитных полей вырожденных звезд-белых карликов и конвективно-спокойных звезд Главной последовательности.

Большая часть диссертации посвящена исследованию белых карликов, имеющих поверхностные магнитные поля напряженностью от нескольких

десятков килогаусс и выше. Между тем, будучи конвективно-спокойными, такие белые карлики во многом повторяют свойства конвективно-спокойных (под конвективно-спокойными подразумеваются звезды, у которых отсутствует внешний конвективный слой) магнитных звезд верхней части Главной последовательности. По этой причине и по причине того, что эти звезды, вероятно, являются предками магнитных белых карликов, в диссертации также подробно рассматривается ряд научных и методических вопросов относительно эволюции конвективно-спокойных звезд Главной последовательности и эволюции их крупномасштабных магнитных полей.

Цели и задачи диссертационной работы

Основная цель работы заключается в исследовании вопросов происхождения и эволюции сильномагнитных конвективно-спокойных звезд-белых карликов и горячих звезд Главной последовательности. Для достижения этой цели необходимы постановка и решение целого ряда наблюдательных и теоретических задач. В контексте настоящей диссертации определен следующий круг задач:

1. Сформулировать и провести спектрополяриметрические наблюдательные программы исследования крупномасштабных магнитных полей у конвективно-спокойных звезд — белых карликов и звезд Главной последовательности. Целью программ является нахождение среди этих звезд магнитных с предельно слабыми регулярными магнитными полями. На сегодняшний день достоверно известно существование классов конвективно-спокойных химически-пекулярных Ap/Bp-звезд с сильными крупномасштабными (глобальными) поверхностными магнитными полями величиной более 1 кГс (Angel et al., 1981) и магнитных белых карликов с полями от

нескольких сотен килогаусс и выше. Эти звезды составляют примерно 10% от общего количества в обеих группах. За несколько десятилетий эти звезды хорошо изучены, но до сих пор остается неясным вопрос относительно их происхождения. Ключом к его решению является детектирование и исследование звезд с регулярными слабыми магнитными полями и построение на основе этих наблюдений их общих распределений по магнитным полям. Популяционный анализ форм таких распределений даст ответ на поставленный вопрос.

2. Сформулировать и выполнить программу фотометрических наблюдений белых карликов с изученными крупномасштабными магнитными полями. Целью программы является детектирование и исследование температурных неоднородностей на поверхностях магнитных белых карликов. Наличие таких структур и их возможная корреляция с поверхностными магнитными полями звезд дадут ответы на целый ряд вопросов относительно эволюции магнитных белых карликов. В частности, нахождение на их поверхностях холодных пятен, коррелирующих с сильномагнитными образованиями по типу солнечных, даст свидетельства о существовании у белых карликов эффектов магнитоиндуцированной блокировки выноса тепла из их недр. В свою очередь это скажется на тепловой эволюции магнитных белых карликов. Также фотометрические наблюдения позволяют определить периоды вращения белых карликов, что дает возможность построить и исследовать диаграмму “напряженность магнитного поля—период вращения”.
3. На основании спектрополяриметрических и фотометрических авторских наблюдений белых карликов провести картирование их глобальных магнитных полей и температурных неоднородностей их поверхностей. Модельное сравнение полученных карт даст ответ на вопрос о существовании блокировки радиального выноса тепла магнитным полем.

4. Исследовать влияние эволюции крупномасштабных магнитных полей на геометрию атмосфер конвективно-спокойных звезд. Медленная эволюция глобальных магнитных полей приводит к развитию индуцированного электрического тока во всех проводящих слоях атмосфер звезд. Сила Лоренца, возникающая в результате взаимодействия между магнитным полем и индуцированным током, способна изменить структуру атмосферы и позволяет оценить характерные времена эволюции как звездных глобальных магнитных полей, так и самих звезд-носителей этих полей. Это делает принципиально возможным сформулировать и решить задачу о построении модели атмосферы с учетом силы Лоренца в уравнении газостатического равновесия, что позволит оценить степень ее влияния на структуру атмосфер конвективно-спокойных магнитных звезд и выявить набор наблюдаемых физических величин для оценки времен их эволюции.
5. Провести спектроскопические наблюдения ряда известных конвективно-спокойных магнитных звезд и модельный анализ их атмосфер с целью оценки времен эволюции этих звезд и их магнитных полей.
6. На основании авторских данных наблюдений конвективно-спокойных магнитных звезд и данных других авторов провести статистическое исследование, которое обобщит картину эффектов проявлений эволюции конвективно-спокойных звезд с крупномасштабными магнитными полями.

Научная новизна работы

1. На основе многолетних спектрополяриметрических наблюдений впервые проведен глубокий по пределам детектирования поиск

слабромагнитных конвективно-спокойных звезд с регулярными крупномасштабными магнитными полями. Найдены и исследованы звезды с предельно слабыми крупномасштабными магнитными полями, которые демонстрируют стабильность на временах годы-десятки лет.

2. Впервые построены карты распределения напряженностей магнитных полей и температур по поверхностям одиночных магнитных белых карликов. Из модельного сравнения карты распределения напряженности поля с картой распределения температуры/яркости у одиночного белого карлика WD 1953-011 обнаружено существование обратной степенной зависимости между температурой в выбранной точке поверхности звезды и величиной ее магнитного поля: чем сильнее магнитное поле, тем ниже температура. Подобные эмпирические зависимости наблюдаются у солнечных пятен с той лишь разницей, что, в отличие от локальных областей солнечных пятен, у WD 1953-011 зависимость имеет глобальный характер по всей поверхности этого белого карлика. Это позволило сделать заключение о существовании у него эффекта глобального подавления конвекции и, как следствие, блокировки выноса тепла из его недр, что в свою очередь оказывает влияние на его тепловую эволюцию. Сделан вывод о существовании подобного эффекта у всех белых карликов с поверхностными магнитными полями напряженностью от нескольких сотен килогаусс и выше. Результаты опубликованы автором с соавторами в журнале Nature (Valyavin et al., 2014a), что аргументирует новизну исследования.

3. Впервые построена самосогласованная модель атмосферы конвективно-спокойной звезды с учетом эволюционно-индуцированной силы Лоренца. Сделан вывод о том, что у горячих звезд Главной последовательности (от ранних А-звезд и более горячих), которые эволюционируют на временах менее 10^9 лет, сила

Лоренца, возникающая в результате взаимодействия между магнитным полем и индуцированным током, способна изменить структуру атмосферы и генерирует заметную переменность штарковских крыльев профилей бальмеровских линий с собственным вращением звезды.

4. На базе упомянутой выше модели проведены высокоточные спектроскопические наблюдения ряда конвективно-спокойных звезд Главной последовательности. Эффект переменности бальмеровских линий обнаружен и впервые смоделирован в спектрах самых горячих звезд выборки. Результаты моделирования продемонстрировали эффективность поиска эволюционно-индуцированных токовых структур в исследованиях эволюции конвективно-спокойных магнитных звезд.
5. Обновлена диаграмма “напряженность магнитного поля–период вращения” для магнитных белых карликов и представлена общая картина наблюдательных эффектов эволюции конвективно-спокойных магнитных звезд—белых карликов и звезд Главной последовательности. Построенная обновленная диаграмма “напряженность магнитного поля–период вращения” опровергает широко цитируемую гипотезу о существовании класса “остановившихся” магнитных белых карликов с магнитными полями более 100 МГс.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются одиночные белые карлики, субкарлики и звезды Главной последовательности спектральных классов F-V. Предметом исследования являются спектрополяриметрические, фотометрические,

спектральные данные наблюдений, теоретические модели магнитных полей и атмосфер этих звезд.

Методология исследования

Методы исследования стандартные: спектрополяриметрические, фотометрические, спектральные наблюдения и их анализ. Стандартная методология измерения магнитных полей по спектрам с анализом круговой и линейной поляризации. Стандартная методика моделирования результатов этих наблюдений для построения карт распределения магнитных полей и яркости по поверхностям исследуемых звезд. Стандартная методика моделирования атмосфер звезд с крупномасштабными магнитными полями. Статистический анализ популяции МБК. Для каждого конкретного случая, та или иная методика детально представлена в тексте диссертации.

Теоретическая и практическая значимость

В ходе работы представлен новый наблюдательный материал по магнетизму 48 конвективно-спокойных звезд, полученный в ходе их многолетнего мониторинга. Все наблюдения опубликованы и могут быть использованы другими исследователями. Данные спектрополяриметрических и одновременных фотометрических наблюдений белых карликов, также карты распределений их магнитных полей и температур, построенные в ходе работы на основании этих наблюдений, могут быть использованы в теоретических исследованиях формирования атмосфер конвективно-спокойных магнитных звезд. Полученные результаты по блокированию выноса тепла магнитными полями белых карликов необходимы в исследовании эволюции белых карликов, для создания моделей внутреннего строения этих звезд и их остывания. Эти результаты совместно с моделью

эволюционно-индуцированной силы Лоренца могут быть использованы при изучении формирования белых карликов и в теории внутреннего строения звезд Главной последовательности с сильными магнитными полями. По факту многократных цитирований результаты работы уже активно используются в международном формате.

Наблюдательные данные диссертации доступны для составления баз данных в отечественных и зарубежных астрономических институтах и обсерваториях. Теоретические и интерпретационные выкладки диссертации по магнетизму конвективно-спокойных звезд могут быть использованы для чтения лекций в Государственном астрономическом институте им. Штернберга МГУ (Москва), Казанском федеральном университете (Казань), на кафедре астрономии Санкт-Петербургского университета (Санкт-Петербург), Южного федерального университета (Ставрополь), Уральского федерального университета и других отечественных и зарубежных вузов. Методические вопросы, рассмотренные в диссертации, связанные с наблюдениями и моделированием, будут востребованы научно-исследовательских астрофизических институтах России, таких как Крымская астрофизическая обсерватория (Крым), Пулковская обсерватория (Пулково, Санкт-Петербург), Физико-технический институт им. Иоффе (Санкт-Петербург), Институт астрономии (ИНАСАН, Москва), Институт космических исследований (ИКИ, Москва), Коуровская обсерватория (Коуровка, Екатеринбургская область) и др.

Положения, выносимые на защиту

1. Наблюдательный материал по поиску предельно слабых регулярных крупномасштабных магнитных полей у 48 конвективно-спокойных белых карликов, горячих субкарликов и звезд Главной последовательности позволяет начать регулярные исследования

магнетизма этих звезд в режиме предельно слабых полей.

2. Белые карлики WD 0009+501, WD 1953-011, WD 2047+372, WD 2105–820 WD 2359-434 обладают субмегагаусными магнитными полями полоидальных структур стабильных на временах годы-десятки лет. Звезда Главной последовательности χ Dra A спектрального класса F7V обладает предельно слабым (порядка 10 Гс) регулярным магнитным полем. Белый карлик WD 1105-048 обладает магнитной, вероятно нерегулярной структурой неизвестной морфологии с напряженностью от 1 до 10 кГс, что поднимает вопрос о стабильности полей таких напряженностей на белых карликах. Эти факты позволяют начать исследование преемственной связи между магнетизмом слабомагнитных белых карликов и звездами Главной последовательности спектрального класса F.
3. Анализ обновленной в результате фотометрических наблюдений белых карликов диаграммы "период вращения–напряженность магнитного поля" не подтверждает широко цитируемую гипотезу о существовании класса "остановившихся" магнитных белых карликов с магнитными полями более 100 МГс.
4. Результаты доплер-зеemanовского картирования магнитосфер одиночных магнитных белых карликов WD 0009+501, WD 1953-011, WD 2047+372 и WD 2359-434 позволяют начать регулярные исследования проблемы происхождения регулярных, крупномасштабных магнитных полей на белых карликах. Все эти звезды имеют доминирующие дипольные, квадрупольные и октупольные структуры на уровнях 100-200 кГс, что свидетельствует об их реликтовой природе.
5. Доплер-зеemanовское картирование и картирование распределения температурных неоднородностей на поверхности одиночного белого карлика WD 1953-011 показали, что температура любой точки поверхности WD 1953-011 находится в обратной степенной

зависимости от величины напряженности ее магнитного поля. Это объясняется глобальным контролем выноса тепла из недр WD 1953-011 его магнитным полем.

6. Созданная модель атмосферы конвективно-спокойной магнитной звезды с учетом эволюционно-индуцированной силы Лоренца и результаты моделирования на ее основе атмосфер звезд θ Aurigae и 56 Arietis позволили обнаружить быструю эволюцию глобального токопроводящего контура этих звезд на характерных временах менее 10^8 лет. Эволюция контура вызвана быстрым изменением структуры тел звезд при их движении поперек Главной последовательности. Поиск подобного эффекта у конвективно-спокойных магнитных звезд более поздних спектральных классов и у магнитных белых карликов не дал положительных результатов. Это согласуется с тем, что крупномасштабные магнитные поля таких звезд эволюционируют на временах более 10^8 лет, что опускает индукционные электромагнитные эффекты ниже предела детектирования.
7. Статистическое исследование всех известных магнитных белых карликов и сравнительный анализ энергетических бюджетов их внешних слоев позволили сделать вывод о том, что эффект глобального подавления конвекции является общим для всех магнитных белых карликов с поверхностными магнитными полями напряженностью более 2 МГс. Как следствие, сильномагнитные белые карлики, находящиеся в конвективной фазе тепловой эволюции, имеют пониженную светимость по сравнению с их слабомагнитными аналогами. На этой основе сформулирована гипотеза о том, что эволюционное остывание магнитных белых карликов происходит медленнее, чем остывание обычных звезд этого класса.

Степень достоверности результатов

Наблюдательные результаты. Все результаты наблюдений получены с использованием наземных наблюдательных средств самого высокого уровня, широко используемых международным научным сообществом. Средства редукации, анализа данных и их калибровки стандартные, на основе программного обеспечения MIDAS и IRAF. Результаты согласуются с результатами других авторов, полученными для тех же объектов.

Теоретические методы и модели. Достоверность использованных теоретических методов и разработанных моделей основана на том, что во всех случаях, как для картирования, так и для моделирования атмосфер магнитных звезд использованы стандартные физико-математические теории и зарекомендовавшие себя методики. Результаты широко цитируются и используются другими авторами в рамках их исследований.

Результаты, полученные применением теоретических моделей. Результаты, полученные с использованием разработанных автором алгоритмов и моделей, приняты астрономическим сообществом, что подтверждается высоким (около 1000) индексом количества цитирований.

Личный вклад автора

Результаты диссертации опубликованы в 33 работах. В статьях, где автор диссертации стоит первым в списке соавторов (10 статей), его вклад является определяющим. В работах [12, 16, 19, 21, 22, 30] автору принадлежат как идейное, так и организационное лидерство в создании теоретических моделей и интерпретации на их основе данных наблюдений конвективно-спокойных звезд с сильными магнитными полями. Вклад автора в эти исследования 50–60% процентов (подробности по вкладу в каждую конкретную работу представлены выше, в списке публикации автора по теме диссертации). Статьи [32, 33] написаны совместно с проф. С.Н.Фабрикой с

равным вкладом 50% . В работе [29] отражен вклад автора в развитие методик анализа атмосфер магнитных звезд. Личный вклад в работу 20%. Работы [1, 7, 8, 11] выполнены в рамках программы РФФИ № 15-02-05183а “Исследование фотометрической и спектральной переменности изолированных магнитных белых карликов” , в которой диссертант был официальным руководителем. В рамках этих работ ему принадлежит определяющая роль в постановке всех научных задач и алгоритмов их решений с общим вкладом в сами исследования от 5% до 30%. В работах [2, 3] автору принадлежит идейное лидерство и значительная часть текстов (вклад от 20% до 40%). В работах [4, 5, 6, 9, 10, 13] с вкладом от 10% до 25% автор, используя 6-м и 1-м российские телескопы САО РАН, участвовал в комплексных исследованиях группы Дж. Ландстрита (J.G.D. Landstreet) магнитных полей белых карликов на европейских телескопах VLT, William Hershel и канадско-франко-гавайском телескопе CFHT. Эти работы являются продолжением его собственных программ, начатых ранее с использованием БТА и VLT [14, 16, 19, 20, 23, 24, 30]. Личный вклад автора в эти работы варьируется от 35% до 50%. В работах [15, 18, 25, 26, 31] автор с личным вкладом 15% – 30% отвечает за подготовку и выполнение наблюдательных программ, а также за обработку и анализ полученного наблюдательного материала. В инструментально-методических исследованиях, выполненных совместно с астрофизиками Корейского института астрономии и космических исследований (KASI, Daejeon, Rep. of Korea) [17, 27, 28] диссертант является официальным консультантом в создании и освоении магнитометрической моды для спектрографа высокого спектрального разрешения BOES. Им же проводится первое наблюдательное исследование точностей измерений продольных магнитных полей с этим инструментом [17] и ставится на нем наблюдательная задача поиска конвективно-спокойных звезд с предельно слабыми магнитными полями. Личный вклад автора в этих работах находится на уровнях 15 – 20% .

Апробация результатов

Основные результаты диссертации изложены в 33 печатных работах, докладывались автором на семинарах и конкурсах научных работ САО РАН, семинарах Государственного астрономического института им. Штернберга МГУ, Физико-технического института им. Иоффе, ГАО РАН, Казанского федерального университета. В том числе результаты докладывались за рубежом на семинарах и лекциях в Корейском институте космических исследований (Тэджон, Южная Корея), корейском Национальном университете (Сеул, Южная Корея), Сеульском университете Седжон (Сеул, Южная Корея), Национальном университете Дэгу (Дэгу, Южная Корея), в Институте астрономии Национального университета Мексики (Энсенада, Мексика), на кафедре астрономии Национального университета Мексики (Мехико, Мексика), на семинарах мексиканского Института астрономии, оптики и электроники (Пуэбло, Мексика), на семинарах кафедр астрономии Уппсальского университета (Уппсала, Швеция) и Северного католического университета Антофагасты (Антофагаста, Чили). Также результаты диссертации докладывались на российских и международных конференциях:

- ``Cosmic Dust and Magnetism'', Daejeon, Rep. of Korea, 30 October – 2 November, 2018;
- ``Physics of Magnetic Stars'', Nizhnij Arkhyz, Russia, 1 – 5 October, 2018;
- ``From Collapse to Collapse'', Nizhnij Arkhyz, Russia, 3 – 7 October 2016;
- ``Physics and Evolution of Magnetic and Related Stars'', Nizhnij Arkhyz, Russia, 25 – 31 August 2014;
- ``Putting A Stars into Context: Evolution, Environment, and Related Stars'', Moscow, Russia, 3 – 7 June, 2013;
- ``Magnetic Fields throughout Stellar Evolution'', IAU Symposium 302, Biarritz, France, 25 – 30, August, 2013;
- ``18th European White Dwarf Workshop'', Cracow, Poland,

- 13 – 17 August, 2012;
- “Magnetic Stars”, Nizhnij Arkhyz, Russia, 27 August – 1 September, 2010;
 - “Cosmic Magnetic Fields: From Planets, to Stars and Galaxies”, IAU Symposium 259, Puerto Santiago, Tenerife, Spain, 3 – 7 November, 2008;
 - “Spectroscopic methods in modern astrophysics”, Moscow, Russia, 13 – 15 September, 2006;
 - “Physics of Magnetic Stars”, Nizhnij Arkhyz, Russia, 28 – 31 August, 2006;
 - “Solar Polarization”, Boulder, Colorado, USA, 19 – 23 September, 2005;
 - “Variable stars”, Odessa, Ukraine, 22-28 August, 2005;
 - “The 6th East Asian Meeting of Astronomy”, Seoul, Rep. of Korea, 18 – 22, October, 2004;
 - “Modelling of Stellar Atmospheres”, IAU Symposium 210, Uppsala, Sweden, 17 – 21 June, 2002;
 - “Variable stars”, Odessa, Ukraine, 20-25 August, 2001;
 - “Magnetic Fields of Chemically Peculiar and Related Stars”, Nizhnij Arkhyz, Russia, 23 – 27 September, 1999;
 - “Modern Problems in Stellar Evolution”, Zvenigorod, Russia, 13 – 15 October, 1998;
 - “11th European Workshop on White Dwarfs”, Tromsø, Norway, 29 June– 3 July, 1998;
 - “Stellar Magnetic Fields”, Nizhnij Arkhyz, Russia, 13 – 18 May, 1996.

Структура и содержание диссертации

Представленная диссертация является результатом работ, выполненных автором в период 1997—2018 гг. Она состоит из Введения, шести глав, Заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации

277 страниц, включая 53 рисунка, 15 таблиц и одного приложения; библиография содержит 201 наименование.

Во **Введении** описываются цели и задачи диссертационной работы, дается обоснование актуальности исследования магнетизма конвективно-спокойных звезд, новизны и практической ценности работы. Приведены степень достоверности результатов, их апробация, результаты, выносимые на защиту, и содержание диссертации.

Первая глава диссертации представляет краткий экскурс в историю исследования магнетизма конвективно-спокойных звезд, наблюдательных методов и методов измерений магнитных полей звезд, которые использовались в диссертационной работе.

Вторая глава посвящена спектрополяриметрическим наблюдениям конвективно-спокойных звезд, которые были выполнены автором на разных телескопах в период 1997—2018 гг. Первая часть главы, “*Наблюдения*”, дает сводку спектрополяриметрических наблюдений списка 37 белых карликов, двух горячих субкарликов и 9 звезд Главной последовательности. Материал получен с использованием 6-м телескопа БТА, 8-м телескопа VLT, 3.5-м телескопа СФНТ и нескольких других телескопов двухметрового класса на временной шкале 20 лет. Вторая часть главы, “*Результаты*”, описывает магнитные свойства исследованных новых магнитных звезд с регулярными крупномасштабными магнитными полями (WD 0009+501, WD 1953-011, WD 2047+372, WD 2105–820, WD 2359-434, χ Dra A) и звезд с признаками наличия спорадических полей (WD 1105-048, WD 1036+433, WD 1647+591). Третья часть главы, “*Выводы*”, резюмирует основные результаты главы, дает частотный анализ встречаемости белых карликов по их магнитным полям и формулирует два первых пункта результатов, выносимых на защиту.

Третья глава представляет наблюдательный материал по исследованию вращательно-модулированной фотометрической переменности магнитных белых карликов с целью детектирования у них магнитоиндуцированных температурных неоднородностей и периодов их вращений. Наблюдения проводились на шкале около 15 лет с использованием телескопов метрового класса САО РАН и других обсерваторий. В результате этих наблюдений найдены либо уточнены периоды вращений у 6 магнитных белых карликов, включая самые намагниченные, с полями напряженностью более 100 МГс. В первой части главы дана сводка этих наблюдений с детальным описанием некоторых из наиболее интересных звезд списка. Во второй части представлена обновленная диаграмма “период вращения – напряженность магнитного поля” для магнитных белых карликов. Анализ диаграммы опровергает широко цитируемую гипотезу о существовании класса “остановившихся” магнитных белых карликов с магнитными полями напряженностью более 100 МГс. Описаны сами наблюдения и дана их сводка. В третьей части обсуждаются основные результаты главы и формулируется третий пункт, выносимый на защиту.

Четвертая глава посвящена описанию и представлению результатов магнитометрического и температурного картирования магнитных белых карликов. В первой части главы рассматриваются методика и результаты моделирования магнитосфер одиночных магнитных белых карликов WD 0009+501, WD 1953-011, WD 2047+372 и WD 2359-434. Моделирование выполнено на основе теоретического анализа авторских долговременных спектрополяриметрических рядов наблюдений. Все звезды имеют доминирующие дипольные и квадрупольные структуры на уровнях 100-200 кГс. Белый карлик WD 1953-011 имеет также контрастную магнитную структуру более высокого порядка с напряженностью поля на полюсе около 1 МГс. Структура покрывает примерно 20% поверхности этой вырожденной звезды. Вторая часть главы представляет результаты совместного доплер-

зеemanовского картирования и картирования температуры поверхности одиночного белого карлика на примере звезды WD 1953-011. Сравнение карт магнитного поля и температуры позволило сделать заключение о том, что температура любой точки поверхности WD 1953-011 находится в обратной степенной зависимости от величины напряженности ее магнитного поля. Подобная связь установлена в структурах локальных магнитных пятен у звезд солнечного типа и связана с процессом подавления в них внешней конвекции. На основе этого сравнения сделано заключение о существовании эффекта глобального подавления внешней конвекции WD 1953-011 его магнитным полем. В третьей части главы, “Выводы”, сформулированы четвертый и пятый пункты результатов, выносимых на защиту.

В **пятой главе** обсуждаются модель атмосферы конвективно-спокойной магнитной звезды с учетом эволюционно-индуцированной силой Лоренца и результаты моделирования на ее основе атмосфер нескольких избранных конвективно-спокойных звезд. В первой части главы рассмотрен математический аппарат модели и ее компьютерная реализация. Во второй части описаны наблюдения и результаты моделирования нескольких избранных конвективно-спокойных магнитных звезд разных температур. У двух конвективно-спокойных магнитных звезд Главной последовательности: θ Aurigae и 56 Arietis - значимо обнаружены возмущения атмосфер силой Лоренца, индуцированной быстрой эволюцией глобального токопроводящего контура звезд на характерных временах менее 10^8 лет. Показано, что эволюция контура вызвана изменением структуры тел звезд при их движении поперек Главной последовательности. В третьей части обсуждаются основные результаты главы в приложении к конвективно-спокойным звездам. Формулируется шестой пункт, выносимый на защиту.

Наконец, в **шестой главе** приводится краткое статистическое исследование

особенностей встречаемости магнитных белых карликов разных температур в процессе их тепловой эволюции, резюмируются и сводятся в единую картину результаты всех предыдущих глав. Сделан вывод о том, что эффект глобального подавления конвекции является общим для всех магнитных белых карликов с поверхностными магнитными полями более 2 МГс. Как следствие, сильномагнитные белые карлики, находящиеся в конвективной фазе их тепловой эволюции, имеют пониженную светимость по сравнению с их слабомагнитными аналогами. На этой основе сформулирована гипотеза о том, что эволюционное остывание магнитных белых карликов происходит медленнее, чем остывание обычных звезд этого класса. Сформулирован седьмой пункт к защите.

В **Заключении** дается краткое резюме к диссертации.

Публикации автора по теме диссертации

Результаты диссертационной работы опубликованы в 33 печатных работах, в том числе в 26 статьях в рецензируемых журналах, индексируемых Web of Science, Scopus и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности.

А. Публикации в журналах, индексируемых Web of Science, Scopus:

1. Антонюк К.А., Валявин Г.Г., Валеев А.Ф., Карпов С.В., Пить Н.В., Аитов В.Н., Фатхуллин Т.А., Галазутдинов Г.А., Танашкин А.С., Антонюк О.И., Ихсанов Н.Р. Поиск и исследование фотометрической переменности у магнитных белых карликов WD 2047+372 и WD 0009+501 // Астрофизический бюллетень. 2019. Т. 74, № 2. С. 183-190. Импакт-фактор РИНЦ2023 = 1.195. Личный вклад 30%. Объем 2.1 печатных листа.

Переводная версия:

- Antonyuk K. A., Valyavin G. G., Valeev A. F., Karpov S. V., Pit N. V., Aitov V. N., Fatkhullin T. A., Galazutdinov G. A., Tanashkin A. S., Antonyuk O. I., Ikhsanov N. R. Search for and Study of Photometric Variability of Magnetic White Dwarfs WD 2047+372 and WD 0009+501 // *Astrophysical Bulletin*. 2019. Vol. 74, No. 2. P. 172-178. Web of Science JCI2023 = 0.25. Личный вклад 30%. Объем 2.1 печатных листа.
2. Han I., Valyavin G., Galazutdinov G., Plachinda S., Butkovskaya V., Lee B. C., Kim K.-M., Jeong G., Romanyuk I., Burlakova T. Magnetic field and orbit of the star β CrB // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2018. Vol. 479. P. 1427-1432. Web of Science JCI2023 = 1.05. Личный вклад 40%. Объем 2.0 печатных листа.
 3. Lee B.-Ch., Gadelshin D., Han I., Kang D.-I., Kim K.-M., Valyavin G., Galazutdinov G., Jeong G., Beskrovnaya N., Burlakova T., Grauzhanina A., Ikhsanov N. R., Kholtygin A. F., Valeev, A., Bychkov V., Park M.-G. Magnetic field and radial velocities of the star Chi Draconis A // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2018. Vol. 473. P. L41-L45. Web of Science JCI2023 = 1.05. Личный вклад 30%. Объем 1.5 печатных листа
 4. Landstreet J. D., Bagnulo S., Valyavin G. Monitoring and modelling magnetic variability in two white dwarfs with very weak magnetic fields// *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*. 2018. Vol. 48. P. 284-286. Web of Science JCI2023 = 0.11. Личный вклад 10%. Объем 0.3 печатных листа
 5. Bagnulo S., Landstreet J. D., Martin A. J., Valyavin, G. A high-precision survey of magnetic white dwarfs// *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*. 2018. Vol. 48. P. 236-244.

Web of Science JCI2023= 0.11. Личный вклад 10%. Объем 0.8 печатных листа.

6. Landstreet J. D., Bagnulo S., Valyavin G., Valeev A. F. Monitoring and modelling of white dwarfs with extremely weak magnetic fields. WD 2047+372 and WD 2359-434 // Astronomy and Astrophysics. 2017. Vol. 607. P. 92-106. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 20%. Объем 2.8 печатных листа.
7. Валеев А.Ф., Антонюк К.А., Пить Н.В., Москвитин А.С., Граужанина А.О., Гадельшин Д.Р., Колесников С.В., Жужулина Е.А., Бурлакова Т.Е., Галазутдинов Г.А., Гутаев А.Г., Жучков Р.Я., Ихсанова А.И., Жуков Д.Г., Джоши А., Пандей Дж. Ч., Холтыгин А.Ф., Валявин Г.Г. Поиск и исследование фотометрической переменности у магнитных белых карликов // Астрофизический бюллетень. 2017. Т. 72, № 1. С. 47-54. Импакт-фактор РИНЦ2023 = 1.195. Личный вклад 6%. Объем 0.42 печатных листа.

Переводная версия:

Valeev A. F., Antonyuk K. A., Pit N. V., Moskvitin A. S., Grauzhanina, A. O., Gadelshin D. R., Kolesnikov S. V., Zhuzhulina E. A., Burlakova T. E., Galazutdinov G. A., Gutaev A. G., Zhuchkov R. Ya., Ikhsanova A. I., Zhukov D. G., Joshi A., Pandey J. C., Kholtygin, A. F., Valyavin, G. G. Search for and study of photometric variability in magnetic white dwarfs// Astrophysical Bulletin. 2017. Vol. 72, No. 1. P. 44-50. Web of Science JCI2023 = 0.25. Личный вклад 6%. Объем 0.42 печатных листа.

8. Антонюк К.А., Колесников С.В., Пить Н.В., Валявин Г.Г., Валеев А.Ф., Бурлакова Т.Е., Галазутдинов Г.А. Обнаружение круговой поляризации и слабоамплитудной фотометрической переменности белого карлика WD1748+508 // Астрофизический бюллетень. 2016.

Т. 71, № 4. С. 510-513. Импакт-фактор РИНЦ2023 = 1.195. Личный вклад 20%. Объем 0.8 печатных листа.

Переводная версия:

Antonyuk K. A., Kolesnikov S. V., Pit N. V., Valyavin G. G., Valeev A. F., Burlakova T. E., Galazutdinov G. A. Detection of circular polarization and low-amplitude photometric variability of the white dwarf WD 1748+508 // *Astrophysical Bulletin*. 2016. Vol. 71, No. 4. P. 475-478. Web of Science JCI2023 = 0.25. Личный вклад 20%. Объем 0.8 печатных листа.

9. Landstreet J. D., Bagnulo S., Martin A., Valyavin G. Discovery of an extremely weak magnetic field in the white dwarf LTT 16093 = WD 2047+372 // *Astronomy and Astrophysics*. 2016. Vol. 591. P. L80-L88. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 25%. Объем 2.25 печатных листа.
10. Landstreet J. D., Bagnulo S., Valyavin G. G., Gadelshin D., Martin A.J., Galazutdinov G., Semenko E. A novel and sensitive method for measuring very weak magnetic fields of DA white dwarfs. A search for a magnetic field at the 250 G level in 40 Eridani B // *Astronomy and Astrophysics*. 2015. Vol. 580. P. L120-L127. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 15%. Объем 1.2 печатных листа.
11. Валеев А.Ф., Антонюк К.А., Пить Н.В., Соловьев В.Я., Бурлакова Т.Е., Москвитин А.С., Граужанина А.О., Гадельшин Д.Р., Шуляк Д., Фатхуллин Т.А., Галазутдинов Г.А., Малоголовец Е.В., Бескин Г.М., Карпов С.В., Дьяченко В.В., Растегаев Д.А., Рзаев А.Х., Валявин Г.Г. О возможности фотометрического исследования экзопланет на базе телескопов метрового класса Специальной и Крымской астрофизических // *Астрофизический бюллетень*. 2015.

Т. 70, № 3. С. 336-346. Импакт-фактор РИНЦ2023 = 1.195. Личный вклад 5%. Объем 0.55 печатных листа.

Переводная версия:

Valeev A. F., Antonyuk K. A., Pit N. V., Solovyev V. Ya., Burlakova T. E., Moskvitin A. S., Grauzhanina A. O., Gadelshin D. R., Shulyak D., Fatkhullin T. A., Galazutdinov G. A., Malogolovets E. V., Beskin G. M., Karpov S. V., Dyachenko V. V., Rastegaev D. A., Rzaev A. Kh., Valyavin G. G. Detection of regular low-amplitude photometric variability of the magnetic dwarf WD 0009+501. on the possibility of photometric investigation of exoplanets on the basis of 1-meter class telescopes of the Special and Crimean Astrophysical Observatories // *Astrophysical Bulletin*. 2015. Vol. 70, N. 3. P. 318-327.

Web of Science JCI2023 = 0.25.

Личный вклад 5%. Объем 0.55 печатных листа.

12. Valyavin G., Shulyak D., Wade G. A., Antonyuk K., Zharikov S. V., Galazutdinov G. A., Plachinda S., Bagnulo S., Fox Machado L., Alvarez M., Clark D. M., Lopez J. M., Hiriart D., Han I., Jeon Y.-B., Zurita C., Mujica R., Burlakova T., Szeifert T., Burenkov A. Suppression of cooling by strong magnetic fields in white dwarf stars // *Nature*. 2014. Vol. 515. P. 88-91. Web of Science JCI2023 = 11.3. Личный вклад 60%. Объем 2.40 печатных листа.
13. Landstreet J. D., Bagnulo S., Valyavin G. G., Fossati L., Jordan S., Monin D., Wade G. A. On the incidence of weak magnetic fields in DA white dwarfs // *Astronomy and Astrophysics*. 2012. Vol. 545. P. L30-L38. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 20%. Объем 1.8 печатных листа.
14. Valyavin G., Antonyuk K., Plachinda S., Clark D. M., Wade G. A., Fox Machado L., Alvarez M., Lopez J. M., Hiriart D., Han I., Jeon Y.-B., Bagnulo S., Zharikov S. V., Zurita C., Mujica R., Shulyak D.,

- Burlakova T. A Study of the Photometric Variability of the Peculiar Magnetic White Dwarf WD 1953-01 // The Astrophysical Journal. 2011. Vol. 734. P. 17-25. Web of Science JCI2023 = 1.1. Личный вклад 40%. Объем 3.6 печатных листа.
15. Shulyak D., Kochukhov O., Valyavin G., Lee B. -C., Galazutdinov G., Kim K. -M., Han I., Burlakova T. The Lorentz force in atmospheres of chemically peculiar stars: 56 Arietis// Astronomy and Astrophysics. 2010. Vol. 509. P. 28-37. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 20%. Объем 1.8 печатных листа.
 16. Valyavin G., Wade G. A., Bagnulo S., Szeifert T., Landstreet J. D., Han I., Burenkov A. The Peculiar Magnetic Field Morphology of the White Dwarf WD 1953-011: Evidence for a Large-Scale Magnetic Flux Tube? // The Astrophysical Journal. 2008. Vol. 683. P. 466-478. Web of Science JCI2023 = 1.1. Личный вклад 50%. Объем 6.5 печатных листа.
 17. Kim K.-M., Han I., Valyavin G. G., Plachinda S., Jang J. G., Jang B.-H., Seong H. Ch., Lee B.-Ch., Kang D.-I., Park B.-G., Yoon T. S., Vogt S. S. The BOES Spectropolarimeter for Zeeman Measurements of Stellar Magnetic Fields // Publications of the Astronomical Society of the Pacific. 2007. Vol. 119. P.1052-1062. Web of Science JCI2023 = 0.77. Личный вклад 20%. Объем 2.2 печатных листа.
 18. Shulyak D., Valyavin G., Kochukhov O., Lee B.-C., Galazutdinov G., Kim K. -M., Han I., Burlakova T., Tsymbal V., Lyashko D. The Lorentz force in atmospheres of CP stars: θ Aurigae// Astronomy and Astrophysics. 2007. Vol. 464. P. 1089-1099. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 30%. Объем 3.3 печатных листа.
 19. Valyavin G., Bagnulo S., Fabrika S., Reisenegger A., Wade G. A., Han I., Monin D. A Search for Kilogauss Magnetic Fields in White Dwarfs and Hot Subdwarf Stars // The Astrophysical Journal. 2006. Vol. 648. P. 559-564. Web of Science JCI2023 = 1.1. Личный вклад 50%. Объем 3.0 печатных листа.

20. Valyavin G., Bagnulo S., Monin D., Fabrika S., Lee B.-C., Galazutdinov G., Wade G. A., Burlakova T. Rotation period and magnetic field morphology of the white dwarf WD 0009+501 // *Astronomy and Astrophysics*. 2005. Vol. 439. P. 1099-1106. DOI: 10.1051/0004-6361:20052642. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 40%. Объем 3.2 печатных листа.
21. Valyavin G., Kochukhov O., Shulyak D., Lee B.-C., Galazutdinov G., Kim K.-M., Han I. The Lorentz Force in Atmospheres of CP Stars: Θ Aur // *Journal of the Korean Astronomical Society*. 2005. Vol. 38. P. 283-287. Web of Science JCI2023 = 0.25. Личный вклад 50%. Объем 2.0 печатных листа.
22. Valyavin G., Kochukhov O., Piskunov N. The influence of magnetic fields on the hydrostatic structure of the atmospheres of chemically peculiar stars // *Astronomy and Astrophysics*. 2004. Vol. 420. P. 993-1007. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 50%. Объем 7.5 печатных листа.
23. Фабрика С.Н., Валявин Г.Г., Бурлакова Т.Е. Магнитные поля и вращение белых карликов 40 Eri и WD 0009+50// *Письма в Астрономический журнал*. 2003. Т. 29, № 11 . С. 830-841. Импакт-фактор РИНЦ2023 = 1.000. Личный вклад 35%. Объем 4.2 печатных листа.
- Переводная версия:
Fabrika S. N., Valyavin G. G., Burlakova T. E. Magnetic Fields and Rotation of the White Dwarfs 40 Eri B and WD 0009+501// *Astronomy Letters*. 2003. Vol. 29, No. 11. P. 737-747. Web of JCI2023 = 0.22. Личный вклад 35%. Объем 3.85 печатных листа.
24. Валявин Г.Г., Бурлакова Т.Е., Фабрика С.Н., Монин Д.Н. Магнитные поля белых карликов// *Астрономический журнал*. 2003. Т. 80, № 7. С. 638-651. Импакт-фактор РИНЦ2023 = 1.000. Личный вклад 40%. Объем 5.6 печатных листа.

Переводная версия:

Valyavin G. G., Burlakova T. E., Fabrika S. N., Monin D. N. Magnetic Fields of White Dwarfs // *Astronomy Reports*. 2003. Vol. 47, No. 7. P. 587-599. Web of Science JCI2023 = 0.24. Личный вклад 40%. Объем 6 печатных листа.

25. Monin D. N., Fabrika S. N., Valyavin G. G. Magnetic survey of bright northern main sequence stars // *Astronomy and Astrophysics*. 2002. Vol. 396. P.131-141. Web of Science JCI2023 = 1.32. Личный вклад 25%. Объем 2.75 печатных листа.

26. Фабрика С.Н., Штоль В.Г., Валявин Г.Г., Бычков В.Д. Измерение магнитных полей белых карликов// *Письма в Астрономический журнал*. 1997. Т. 23, № 1. С. 47-52. Импакт-фактор РИНЦ2023 = 1.000. Личный вклад 25%. Объем 1.5 печатных листа.

Переводная версия:

Fabrika S. N., Shtol' V. G., Valyavin G. G., Bychkov V. D. Measurements of magnetic fields on white dwarfs // *Astronomy Letters*. 1997. Vol. 23, No. 1. P.43-47. Web of Science JCI2023 = 0.22. Личный вклад 25%. Объем 1.25 печатных листа.

Б. Иные публикации:

27. Kim K. -M., Han I., Plachinda S., Valyavin G., Yoo K. H. Conceptual Design Study of the BOES Stokesmeter // *Publications of the Korean Astronomical Society*. 2005. Vol. 20. P. 117-124. 2005.20.1.117. Личный вклад 15%. Объем 1.2 печатных листа.

28. Kang D.-I., Park H.-S., Han I., Valyavin G., Lee B.-C., Kim K.-M. Development of an automatic processing program for BOES data // *Publications of the Korean Astronomical Society*. 2005. Vol. 20. P. 97-107. Личный вклад 15%. Объем 1.65 печатных листа.

29. Shulyak D., Valyavin G., Kochukhov O., Khan S., Tsymbal V.

Atmospheres of CP stars: magnetic field effects // *Memorie della Società Astronomica Italiana Supplement.* — 2005. — Vol. 7. — P. 99-106.
Личный вклад 20%. Объем 1.6 печатных листа.

30. Valyavin G., Bagnulo S., Fabrika S., Reisenegger A., Wade G. A., Han I., Monin D. Magnetism of White Dwarfs (intermediate results of a survey for kilogauss magnetic fields in white dwarfs) // *Odessa Astronomical Publications.* 2005. Vol. 18. P.135-137. Личный вклад 50%. Объем 1.5 печатных листа.
31. Naidenov I. D., Valyavin G. G., Fabrika S. N., Borisov N. V., Burenkov A. N., Vikul'ev N. A., Moiseev S.V., Kudryavtsev D. O., Bychkov V. D. A spectropolarimeter based on the 6 m telescope fast prime focus spectrograph // *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory.* 2002. Vol. 53. P.124–130. . Личный вклад 25%. Объем 3.5 печатных листа.
32. Fabrika S. N., Valyavin G. G. Magnetic field function of white dwarfs// *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory.* 1998. Vol. 45. P. 84-92. Личный вклад 50%. Объем 4.5 печатных листа.
33. Valyavin G. G., Fabrika S. N. Evolution of magnetic fields of white dwarfs// *Bulletin of the Special Astrophysical Observatory.* 1998. Vol. 45. P. 69-83. Личный вклад 50%. Объем 2.5 печатных листа.

Список литературы

1. *Angel J. R. P., Borra E. F., Landstreet J. D.* The magnetic fields of white dwarfs// *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 1981. – Vol. 45. – P. 457-474.
2. *Aznar Cuadrado R., Jordan S., Napiwotzki R., Schmid H. M., et al.* Discovery of kilogauss magnetic fields in three DA white dwarfs// *Astron. Astrophys.* – 2004. – Vol. 423. – P.1081-1094.

3. *Elkin V.G.* Magnetic fields in hot subdwarfs// *Astron. Astrophys.* – 1996. – Vol. 312. – P. L5-L8.
4. *Fabrika S., Valyavin G.* Magnetic field function of white dwarfs //11th European Workshop on White Dwarfs: Proc. Conf./ Ed. by S.-E. Solheim, E.G. Meistas. – San Francisco, 1999a. – P. 214 (ASP Conf. Ser.; Vol. 169).
5. *Fabrika S., Valyavin G.* Observations of white dwarfs magnetic fields in the submegagauss region// 11th European Workshop on White Dwarfs: Proc. Conf./ Ed. by S.-E. Solheim, E.G. Meistas. – San Francisco, 1999b. – P. 225 (ASP Conf. Ser.; Vol. 169).
6. *Greenstein J.L., Sargent A.I.* The Nature of Faint Blue Stars in the Halo. II// *Astrophys. J. Suppl. Ser.* – 1974. – Vol. 28. – P.157-209.
7. *Kawka A., Vennes S.* Ap stars as progenitors of magnetic white dwarfs// *The A-Star Puzzle: Proc. IAU Symp. No. 224, Poprad, Slovakia, 2004/* Ed. by J. Zverko, J. Ziznovsky, S.J. Adelman, W.W. Weiss. – Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2004. – P. 879-885 (IAU Symp.; Vol. 224).
8. *Kepler S. O., Pelisoli I., Jordan S., Kleinman S. J., et al.* Magnetic white dwarf stars in the Sloan Digital Sky Survey// *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 2013. – Vol. 429. – P.2934-2944.
9. *Liebert J., Bergeron P., Holberg J.B.* The True Incidence of Magnetism among Field White Dwarfs// *Astron. J.* – 2003. – Vol. 125. – P. 348-353.
10. *Liebert J., Sion E.M.* Is the relative frequency of magnetic white dwarfs higher among cool stars than hot stars?// *Astrophys. Lett.* – 1979. – Vol. 20. – P. 53-55.
11. *Maxted P.F.L.* Hot subdwarfs// *Spectroscopically and Spatially Resolving the Components of the Close Binary Stars: Proc. Workshop, Dubrovnik, Croatia, 2003/* Ed. by R. W. Hilditch, H. Hensberge, K. Pavlovski. – San Francisco, 2004. – P. 387-395 (ASP Conf. Ser.; Vol. 318).

12. *Schmidt G.D., Smith P.S.* A search for magnetic fields among DA white dwarfs// *Astrophys. J.* – 1995. – Vol. 448. – P. 305-312.
13. *Valyavin G., Shulyak D., Wade G. A., Antonyuk K., et al.* Suppression of cooling by strong magnetic fields in white dwarf stars// *Nature.* – 2014. – Vol. 515. – P.88-91.
14. *Valyavin G., Bagnulo S., Fabrika S., Reisenegger A., et al.* A Search for Kilogauss Magnetic Fields in White Dwarfs and Hot Subdwarf Stars// *Astrophys. J.* – 2006. – Vol. 648. – P. 559-564.
15. *Valyavin G., Burlakova T. E., Fabrika S. N., Monin D. N.* Magnetic Fields of White Dwarfs // *Astron. Rep.* – 2003. – Vol. 47. – P. 587-599.
16. *Valyavin G., Fabrika S.* White dwarfs magnetic fields evolution// 11th European Workshop on White Dwarfs: Proc. Conf./ Ed. by S.-E. Solheim, E.G. Meistas. – San Francisco, 1999. – P. 206 (ASP Conf. Ser.; Vol. 169).
17. *Wendell C.E., Van Horn H.M., Sargent D.* Magnetic field evolution in white dwarfs// *Astrophys. J.* – 1987. – Vol. 313. – P. 284-297.
18. *Wickramasinghe D. T., Ferrario L.* The origin of the magnetic fields in white dwarfs// *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2005. – Vol. 356. – P. 1576-1582.