

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
Валявина Геннадия Геннадьевича на тему
«Исследование магнетизма и эволюции конвективно-спокойных звезд с
крупномасштабными магнитными полями»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

Диссертация, представленная Геннадием Геннадьевичем Валявиным на соискание ученой степени доктора физико-математических наук посвящена исследованию магнитных полей белых карликов и химически пекулярных звезд, которые, вероятно, являются прародителями магнитных белых карликов. Происхождение и эволюция магнитных полей белых карликов является фундаментальной астрофизической проблемой, и шаги к ее решению являются крайне актуальными не только для понимания строения и эволюции белых карликов, но могут быть полезными и для понимания происхождения магнитных полей нейтронных звезд. Это означает, что тема диссертации является весьма актуальной. Выводы диссертации базируются на прочном фундаменте наблюдательных данных, либо полученных диссертантом лично, либо при его участии. Интерпретация полученных данных проведена с использованием надежных математических методов. Моделирование атмосфер звезд с учетом силы Лоренца выполнено впервые, с применением хорошо проверенного кода для моделирования атмосфер звезд, соответствующим образом модифицированного автором и его коллегами. Все это приводит рецензента к выводу, что результаты, полученные в диссертации являются новыми, хорошо обоснованными, а сделанные выводы достоверными.

Диссертация состоит из Введения, шести глав и Заключения. Введение во многом повторяет содержание Автореферата, в нем сформулированы результаты, выносимые на защиту, обосновывается актуальность выбранной темы, новизна и достоверность полученных результатов, и приведен список публикаций, в которых были опубликованы результаты, представленные в

диссертации. Помимо всего прочего, во Введении раскрывается содержание диссертации, путем представления краткого резюме каждой главы.

Собственно вводной, в содержательном смысле, является первая глава. В ней кратко описана история открытия магнитных полей на Солнце и других звездах с помощью эффекта Зеемана. Более подробно рассказано об истории исследований магнетизма белых карликов. Интерес представляет описание всех спектральных приборов, использовавшихся автором для измерения магнитных полей в исследованных им звездах. Представлены описания приборов, как использовавшихся и используемых на БТА, так и приборах, установленных на крупнейших телескопах по всему миру.

Вторая и третья глава содержат результаты обработки длительных рядов наблюдений магнитных белых карликов и ряда других магнитных звезд, выполненные диссертантом и под его руководством. Большое количество отдельных спектрополяриметрических измерений значения магнитного поля (в основном продольной его составляющей) представлено для 37 белых карликов и двух субкарликов, единичных измерений для восьми звезд главной последовательности ранних спектральных классов, и сравнительно длинный ряд наблюдений звезды χ Dra. В итоге было выделено пять белых карликов, обладающих относительно слабым магнитным полем и получены или уточнены периоды их вращения. Некоторые из этих объектов (например, WD 0009+501) изучались затем более подробно.

В третьей главе представлены результаты длительных фотометрических наблюдений шести магнитных белых карликов. Фотометрическая переменность связана с наличием температурных неоднородностей на поверхности магнитных белых карликов и их вращением. В результате были уточнены периоды вращения двух белых карликов, и найдена фотометрическая переменность у четырех белых карликов, для которых получены предварительные значения периодов вращения.

На мой взгляд, самые важные результаты содержатся в четвертой главе диссертации. В ней представлены результаты исследования конфигурации магнитного поля у четырех магнитных белых карликов, выполненных на основе детальных спектрополяриметрических измерений параметров Стокса. Магнитное поле одного из них (WD 2047+372) оказалось практически дипольным, тогда как результаты наблюдений остальных звезд нельзя описать без привлечения мультипольных компонент более высоких порядков. Наиболее подробно исследован белый карлик WD 1953-011. На его поверхности, в дополнение к регулярному дипольному полю с заметным вкладом квадруполя, существует область повышенного магнитного поля (около 500 кГс), занимающая около 20% площади звезды. Оказалось, что фотометрическая переменность этого объекта также лучше всего описывается, если предположить наличие на белом карлике области пониженной яркости такой же площади, совпадающей с магнитным пятном. Более того, показано, что общее распределение яркости по поверхности белого карлика хорошо коррелирует с распределением напряженности магнитного поля. А именно, чем слабее поле, тем ярче этот участок поверхности. На этом основании был сделан вывод о глобальном подавлении конвективного выноса энергии магнитным полем в атмосферах замагниченных белых карликов. Пожалуй, это наиболее значимый результат, представленный в рецензируемой диссертации.

Следующая, пятая глава диссертации оказалась самой любопытной для оппонента, так как рассматриваемое в ней моделирование атмосфер звезд ближе всего к моим собственным научным интересам. В ней описан достаточно простой, но в то же время физически правильный способ учесть влияние магнитного давления на структуру модели атмосферы звезды главной последовательности, находящейся в лучистом равновесии. Было постулировано наличие электрического напряжения, перпендикулярного дипольному магнитному полю звезды. Появляющийся в результате ток, параллельный поверхности плоскопараллельной атмосферы звезды,

рассчитывается на основе принятой модели проводимости плазмы звезды. Взаимодействие этого тока с дипольным магнитным полем приводит к появлению силы Лоренца, которая либо локально усиливает, либо локально ослабляет силу тяжести в модели атмосферы звезды, в зависимости от напавлений векторов тока и магнитного поля. Величина электрического напряжения подбиралась таким образом, чтобы это не приводило к глобальному коллапсу модели атмосферы, но все же оказывало на нее заметное влияние. В диссертации представлен ряд моделей атмосфер звезд с эффективными температурами 8 - 24 кК и различными значениями напряженности магнитного поля. Показано, что модели, в которых сила Лоренца имеет значение, демонстрируют отклонения в профилях бальмеровских линий на уровне нескольких процентов, и эти отклонения должны быть переменны в зависимости от фазы вращения звезды. Примечательно, что такая переменность профилей была обнаружена и исследована с использованием спектров высокого разрешения для двух химически пекулярных звезд с заметным магнитным полем, θ Aur и 56 Ari. Продемонстрировано, что для описания конфигурации магнитных полей этих звезд кроме дипольной необходимо привлекать и квадрупольную составляющую, а величина электрического напряжения на магнитном экваторе звезд должна быть заключена в пределах $10^{-10} - 10^{-11}$ в единицах сгс. Это на два порядка больше, чем ожидалось из простых эволюционных моделей затухания магнитного поля в химически пекулярных звездах. Сделан вывод, что, возможно, характерное время затухания поля намного короче ожидавшегося ранее.

В заключительной, шестой главе диссертации подводиться итог всей работы и формулируется ее главный итог. На базе представленных ранее результатов Геннадий Геннадьевич обосновывает вывод, что достаточно сильное магнитное поле относительно холодных белых карликов подавляет конвективный вынос энергии на их поверхность, замедляя тем самым темп остывания магнитных белых карликов. Данный вывод обосновывается в

данной главе на основе анализа различных статистических закономерностей, показывающих, что относительная доля магнитных белых карликов увеличивается по мере увеличения их возраста и уменьшения светимости.

В последнем разделе диссертации, озаглавленном «Заключение», кратко сформулированы основные результаты работы с упором на их возможное развитие и важность для понимания возникновения и эволюции магнитных полей белых карликов и химически пекулярных звезд.

Оценивая диссертацию в целом, необходимо сказать, что она является итогом большого многолетнего труда Геннадия Геннадьевича, в которой представлены результаты, имеющие большое значение для понимания процессов, происходящих в атмосферах звезд, в том числе и белых карликов, при наличии заметного магнитного поля. Не менее важны и представленные результаты наблюдений и их интерпретация. На их основе можно планировать новые наблюдения и теоретические работы, которые позволят приблизиться к пониманию того, как возникают и эволюционируют магнитные поля белых карликов, и как они связаны с магнитными полями звезд, прародителей белых карликов.

Содержание Автореферата соответствует содержанию диссертации.

Конечно, как и всякая большая исследовательская работа, представленная к защите диссертация не лишена некоторых недостатков. Среди прочего важно отметить, что сделанный диссертантом вывод об увеличении относительной доли магнитных белых карликов с уменьшением их температуры верен не для всех типов белых карликов. В частности, горячие белые карлики спектрального класса DQ (Hot DQ), с преобладанием углерода в их атмосферах, являются достаточно горячими (18-24 кК), и доля магнитных звезд среди них достигает 70% (Dufour et al. 2013, см. также таблицу 2 в работе Kawka 2020). В последней из цитированных работ обосновывается, что такие белые карлики могут быть продуктом слияния белых карликов, и, в целом, заметная часть магнитных белых карликов может быть результатом таких слияний. На это, в частности, указывает тот

факт, что в среднем массы магнитных белых карликов выше, чем средние массы этого класса одиночных компактных объектов. Можно выдвинуть предположение, что необычный массивный горячий белый карлик WD 1658+441, упоминаемый в шестой главе диссертации, является продуктом слияния двух менее массивных белых карликов. Этот возможный канал происхождения магнитных полей у белых карликов в диссертации совсем не упоминается.

Некоторое недоумение вызывает несоответствие между названием диссертации, которая декларируется как исследование конвективно-спокойных звезд, с основным выводом работы, гласящим, что глобальное магнитное поле белых карликов подавляет конвективный вынос энергии к поверхности.

В тексте диссертации существует и некоторое количество опечаток и описок. Упомяну лишь те, что потенциально могут затруднить понимание работы. Так, в тексте существует две пары формул под номером (32), на стр. 211 и 220, и две пары формул под номером (33), на стр. 233 и 234. На оси ординат рисунка 52b отсутствует шкала величин. При описании полученных результатов в конце пятой главы на стр. 232 автор утверждает, что «Поведение эффективной гравитации с вертикальным направлением имеет два экстремума, которые формируются электронной (в верхних слоях атмосферы) и ионной (в нижних слоях атмосферы) электропроводностью.». Мне кажется, здесь имеет место описка, так как из описания моделей в разделе 5.4.1 (и рис. 29) ясно, что дело обстоит ровно наоборот, экстремум в нижних слоях атмосферы образуется за счет отключения электронной электропроводности, а в верхних – за счет отключения ионной.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени

М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Считаю, что соискатель Валявин Геннадий Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, доцент, научный сотрудник (в настоящее время) группы «атмосферы звезд» Института астрономии и астрофизики Университета Тюбингена (Германия); старший научный сотрудник (с 03.04.2017 по 31.12.2021) кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Сулейманов Валерий Фиалович

13 февраля 2025 года

Контактные данные:

тел.: +49 7071 2978610, e-mail: suleimanov@astro.uni-tuebingen.de

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.03.02 – Астрофизика и радиоастрономия

Адрес места работы:

72076, Sand 1, Tübingen, Germany, Institute for Astronomy and Astrophysics

Тел.: +49 7071 2978610; e-mail: info@astro.uni-tuebingen.de

Подпись сотрудника Казанского (Приволжского)
Федерального Университета (с 03.04.2017 по 31.12.2021)

В.Ф. Сулейманова удостоверяю: