

**ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации 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**

Почти 120 лет прошло с того замечательного события, когда в 1908 году американский астрофизик Дж. Хэйл (George Ellery Hale) обнаружил расщепление спектральных линий в солнечных пятнах и объяснил это явление незадолго до этого (в 1897 г.) открытым эффектом Зеемана. Можно считать, что именно с этого момента началась эпоха интенсивных исследований космических магнитных полей – одного из основных и актуальных направлений в современной астрофизике (а применительно к Солнцу, даже и в некоторых аспектах геофизики). Важной составной частью таких исследований является изучение магнитных полей звезд различного типа. (Можно упомянуть, что впервые существование магнитных полей на других звездах, помимо Солнца, было доказано Бэбкоком в 1947 году). В настоящее время диапазон напряженностей магнитных полей, детектированных на звездах, составляет от нескольких Гаусс на звездах солнечного типа до умопомрачительных 10^{13} - 10^{15} Гс на магнетарах. Отдельную и важную нишу в звездном разнообразии, хотя и не такую многочисленную, как звезды главной последовательности, занимают белые карлики (БК), которые являются конечным этапом эволюции звезд (включая Солнце), относительно небольшой массы (1-8 масс Солнца), т.е. примерно 90 процентов всех звёзд. Магнитные поля на БК обладают рядом удивительных особенностей, поэтому их исследование, что является одной из основных задач рецензируемой диссертации, представляется очень важным и интересным.

Например, можно привести такой любопытный факт. Обычно считается, что именно магнитные поля являются «возмутителями

спокойствия» на звездах. В большинстве случаев, включая Солнце, это действительно так. При отсутствии магнитных полей Солнце и большинство других звезд не проявляли бы никаких признаков активности, монотонно вращаясь и постепенно сжигая запасы термоядерного топлива (водорода, гелия и т.д.) в своих недрах. Но, оказывается, что на некоторых БК магнитные поля (достаточно сильные !) часто играют не дестабилизирующую, а скорее стабилизирующую, можно сказать консервирующую, роль в процессе звездной эволюции, существенно замедляя темпы теплового остывания.

Остро дискуссионным является вопрос о связи с магнитным полем параметров вращения БК с сильными магнитными полями (магнитные белые карлики, МБК). В частности, существует мнение, что сильные магнитные поля способствуют замедлению вращения, практически останавливая его.

Уже только упомянутые две проблемы, которые подробно рассматриваются в диссертации, сделали бы её очень злободневной. А ведь в ней анализируются и многие другие!

Считаю важным отметить, что автор диссертации лично участвовал в разработке нескольких инструментов, в том числе за рубежом (в частности, в Республике Корея), предназначенных для высокоточных измерений магнитных полей на звездах. Лично проводил многочисленные наблюдения. И, что немаловажно, полученные им во многих случаях пионерские результаты опубликованы в очень авторитетных изданиях (даже в Nature) в соавторстве с ведущими в данной области науки учеными, такими как J.D.Landstreet, S.Bagnulo, G.Wade и др.

Структура диссертации. Работа состоит из Введения, шести глав, Заключение, списка цитируемой литературы (201), Приложения. Она большая по объему (277 стр.), хорошо иллюстрирована (53 рисунка и 15 таблиц), написана хорошим литературно-научным языком.

Во **Введении** автор обосновал актуальность и продемонстрировал степень достоверности тематики исследований, сформулировал цели и задачи, научную новизну, объект и предмет исследования диссертационной работы. Также указаны методология, теоретическая и практическая значимость исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту; степень достоверности полученных результатов. Приведён список публикаций (33) автора по теме диссертации. Указан личный вклад автора в таких публикациях, перечислены конференции, на которых эти результаты прошли апробацию.

В первой главе (**«Магнитные поля звезд: общие и исторические замечания, методы диагностики»**) дается краткая информация об истории открытия магнитных полей на звездах (впервые это было сделано Бэбкоком в 1947 году, напряженность магнитного поля оценена в 1.5 КГс). Отмечена актуальность изучения магнитных полей на звездах без активной конвекции в поверхностных слоях (конвективно-спокойных), особенно белых карликов. Приводится справочная информация о методах наблюдений магнитных полей, кратко описываются инструменты, на которых получался использованный в диссертации экспериментальный материал.

Отмечено, что, в зависимости от напряженности магнитного поля на звездах, на практике используются два основных способа их детектирования. При сильных магнитных полях (1 МГс и более) возможны измерения по круговой поляризации в широкой области спектра. Модуляционные вариации интенсивности при этом могут достигать нескольких процентов. В случае меньших напряженностей измерения проводятся по круговой поляризации в крыльях спектральных линий, применительно к БК, в частности, водородной линии H-альфа. (Здесь имеет смысл отметить, что именно такой способ применительно к разным спектральным линиям используется для наблюдений магнитных полей на Солнце, только там вариации интенсивности при работе анализатора

поляризации составляют доли процента, вплоть до 0.1% в случае слабых крупномасштабных полей).

Во второй главе («Спектрополяриметрические исследования конвективно-спокойных звезд») приводится подробная информация о спектрополяриметрических измерениях конвективно-спокойных звёзд, выполненных автором лично и/или в кооперации с коллегами на различных телескопах, в том числе на БТА и крупных зарубежных (VLT, CFHT). Список объектов наблюдений составляет 48 наименований, из которых 37 белых карликов и 9 звезд Главной последовательности. С учетом того, что к началу проведения автором программы по мониторингу магнитных полей было известно всего 2 БК с зарегистрированным субмегагауссным магнитным полем, это представляет значительный прогресс. Обнаружено, что у некоторых звезд регулярные крупномасштабные магнитные поля регистрируются, и их структура стационарна на временной шкале в несколько лет, у других звезд выявляются признаки лишь спорадических полей.

Отмечается, что на результаты поляриметрических измерений и последующих выводов о наличии (или отсутствии...) регулярных магнитных полей, существенное влияние оказывает вращение звезд, которое в случае БК варьирует от нескольких десятков минут, до нескольких десятков часов.

По результатам данной главы сформулированы два первых положения, выносимых на защиту.

Касательно используемой в данной главе (а также в последующем в главе 4) терминологии, с моей точки зрения, имеется некоторая неопределённость. С продольной/эффективной компонентой магнитного поля всё понятно. Вопрос возникает при определении понятия напряженности поверхностных магнитных полей (используется обозначение B_s). С одной стороны, в тексте говорится (стр. 58): «Непосредственные наблюдения эффекта Зеемана в линиях спектров звезд позволяют измерять модуль полного вектора магнитного поля (B_s – поверхностное магнитное

поле). Полную картину интегрального магнитного поля звезды можно восстановить, используя результаты дополнительных наблюдений линейной поляризации магнитного поля» (конец цитаты). Это действительно так, и модуль поля можно определить или измерениями всех компонент вектора Стокса (не только V , но и Q и U), или измерениями просто компонент расщепления, без анализа поляризации, что в случае сильных магнитных полей вполне возможно, даже в пятнах на Солнце.

Но! Во-первых, измеряется поляризация не магнитного поля, а спектральных линий. Во-вторых, термин «поверхностное магнитное поле» в этом контексте представляется не совсем удачным. Действительно, ведь и продольная компонента поля тоже относится к поверхности звезды и с таким же успехом может называться поверхностным полем. Поэтому представляется более предпочтительным использовать другой термин из второго процитированного предложения – «интегральное магнитное поле».

Вряд ли в самом начале данной главы (стр. 53), когда говорилось об измерениях «...поверхностных магнитных полей с точностями от нескольких Гаусс...», имелась в виду точность измерения модуля (несколько Гс у звезд главной последовательности).

Данное замечание имеет отношение и к последующим результатам (особенно в главе 4), когда речь идет о картировании магнитных полей и их описании сферическими гармониками. В частности на стр. 108 отмечено, что «...поверхностное магнитное поле V_S есть модуль $|V|$ полного магнитного вектора, проинтегрированного по видимой полусфере звезды...»

В третьей главе («**Фотометрические исследования магнитных белых карликов**») излагаются результаты 15-летних исследований фотометрической переменности магнитных БК, вызванной вращением и наличием температурных неоднородностей, обусловленных влиянием магнитных полей (предполагается, что «наиболее намагниченные части поверхности выглядят более холодными, чем менее намагниченные»). Основной научной задачей было изучение возможной связи скорости

вращения МБК с параметрами магнитного поля. Интригирующим ранее известным результатом в этом отношении является отсутствие вращательной модуляции у некоторых МБК, что позволяло предположить сверхдолгие (сотни лет) периоды вращения. Хотя, как справедливо отмечено автором диссертации, отсутствие такой модуляции возможно объяснить, наоборот, и сверхбыстрым (менее минуты), сопоставимым с временем экспозиции, периодом вращения.

Кроме того, предпринята попытка оценить посредством анализа фотометрической переменности возможностей детектирования у БК планет (экзопланет). Именно наличием планеты пытаются объяснить появление эмиссионного водородного спектра у одного из БК (GD 356). Период фотометрической переменности этой звезды составляет 115 минут.

Важнейшим результатом данной главы, основанным на анализе полученной диаграммы «период вращения – напряженность магнитного поля» (Рис. 14 на стр 97), является вывод о несостоятельности гипотезы о существовании неврещающих, «остановившихся», МБК с напряженностью магнитного поля свыше 100 МГс. Данный результат предложен автором как одно из положений (третье), выносимых на защиту.

В Главе 4 (**«Исследование геометрии поверхностных магнитных полей и температурных неоднородностей у магнитных белых карликов со слабыми магнитными полями»**) подробно представлены результаты решения, применительно к 4-ём МБК, по сути обратной задачи - восстановление по вариациям с вращением наблюдаемых профилей Стокса линии Н-альфа распределений по поверхности звезды температуры и напряженности магнитного поля. Продемонстрировано, что все изученные объекты обладают крупномасштабными магнитными полями, которые можно описать, как правило, дипольными и квадрупольными гармониками. Для МБК WD 1953-011, многократно исследованного различными исследователями, показано, что данные наблюдений наилучшим образом воспроизводятся в предположении 2-х компонентной модели, т.е. наличия,

дополнительно к сравнительно слабым фоновым магнитным полям (100-200 кГс), локальной структуры, пятна, занимающего примерно 20 процентов с гораздо более сильным (порядка 500 кГс) полем в центре.

Применительно к этой же (WD 1953-011) звезде посредством сопоставления карт распределения по диску температуры и магнитного поля, получен результат фундаментального характера о том, что температура (Т) и напряженность магнитного поля (В) связаны соотношением $T \sim B^{-0.06}$, что можно рассматривать как доказательство подавления сильными магнитными полями внешней конвекции.

В заключительной части главы сформулированы результаты, выносимые на защиту (4-ый и 5-ый).

В тексте данной главы дается объяснение, почему рассмотрение вопросов картирования ограничено случаем слабомагнитных МБК. Дело в том, что в случае сильных магнитных полей (напряженностью до нескольких сотен МГс, которые свойственны многим МБК) становится существенным проявление квадратичного эффекта Зеемана, учет которого представляет серьёзную теоретическую и практическую проблему. Более однозначная интерпретация поляриметрических измерений пока возможна только для относительно слабых (менее 1 МГс) магнитных полей.

Несколько дискуссионными, на мой взгляд, являются результаты сопоставления (Рис. 22 на стр. 141, 142) наблюдаемых и расчетных профилей Стокса применительно к Q и U (к I и V вопросов нет – согласие превосходное). За исключением, пожалуй, только одного случая (верхняя правая панель на стр. 142), сигналы этих параметров очень слабы (шумоподобны), и о воспроизводимости говорить вряд ли возможно.

Другое мое замечание касается термина «эквивалентная ширина ядра» спектральной линии (стр. 121). Обычно, насколько мне известно, эквивалентная ширина определяется для всей линии целиком, а не для отдельных её частей. Поэтому не проще ли было говорить просто о ширине ядра контура, на определённом уровне остаточной интенсивности?

В пятой главе (**«Влияние эволюции глобальных магнитных полей конвективно-спокойных звезд на структуру их атмосфер»**) рассматриваются теоретические вопросы влияния на параметры внешних слоев определённых звезд Главной последовательности и БК систематических временных изменений крупномасштабных (глобальных) магнитных полей. А именно, с привлечением разработанной автором диссертации модели силы Лоренца, возникающей при эволюционных изменениях магнитных полей (на масштабах времени сотни миллионов лет), показано влияние таких сил на параметры атмосфер звезд (и, как следствие, особенностей спектров поглощения) при их эволюционном движении поперек Главной последовательности. Теоретические расчеты использованы на практике применительно к анализу (в частности для моделирования профилей Бальмеровских линий $H\beta$ и $H\gamma$) нескольких конвективно-спокойных звезд разных температур.

Также в главе обсуждены вопросы затухания и генерации глобальных магнитных полей.

В заключении главы сформулирован очередной (шестой) выносимый на защиту результат.

В шестой, заключительной главе диссертации (**«Замечания об особенностях тепловой эволюции магнитных белых карликов»**) подводятся обобщающиеся итоги результатов предыдущих глав. Анализируются особенности встречаемости МБК различных температур, когда оказывается, что холодные БК чаще имеют сильные магнитные поля, чем молодые и более горячие. Этот факт находит естественное объяснение в рамках предложенной автором диссертации гипотезы, что имеет место эффект глобального подавления магнитным полем (с напряженностями более 2МГс) конвективного переноса тепловой энергии. По этой причине эволюционное остывание таких звезд происходит медленнее, чем звезд без

магнитного поля. Этот результат (7-ой по счету) выносится автором на защиту.

В качестве замечания к данной главе можно указать неоправданно громоздкие подписи под Рис. 51 (стр.236) и Рис. 52 (стр. 240), которые фактически копируют соответствующие места из текста.

Замеченные оппонентом опечатки и возможные замечания приводятся ниже.

С. 6. Расшифровку аббревиатуры МБК следует дать при первом упоминании.

С.8. Вместо слова «компиляцией» предпочтительно использовать «обобщением результатов».

С. 15. Пропущена буква «в» после слова «востребованы...».

С.15. Следует изменить окончание.... «научно-исследовательских»

С. 18. Убрать символ _ в первой публикации.

Стр. 20. Убрать « - 2» в слове астро-физический

С. 21. Конец пункта 11. Должно быть не «астрофизических», а «астрофизической обсерватории».

С. 29. Пропущено «t» в слове supplement.

С. 45. Желательно было дать расшифровку «FORS», что означает «Focal Reducer and low dispersion Spectrograph».

С. 45. Желательно при описании эффекта Зеемана дать определения всех упоминаемых квантовых чисел. В формуле (1) ошибка – длина волны должна быть в квадрате.

С. 63. На Рис.1 на оси ординат (Y) не приведены единицы измерения.

С. 67. На Рис.4 на оси ординат (Y) не приведены единицы измерения.

С.73. Опечатка в названии учреждения, лишнее слово «наук»

С. 75. На Рис.8, панель (а), на оси ординат (Y) не приведены единицы измерения.»

С. 85. В формуле не указано, в каких единицах определен период вращения.

С. 152. Опечатка в окончании слова, д.б. «обнаружиЛИ».

С. 204. Опечатка, Должно быть «...отклонение выше этого значения.».

С. 207. Пропущено слово «равновесие» (ЛТР).\

С. 207. Опечатка. Д.б. «связаННЫХ» (bound-bound).

Результаты работы опубликованы в 33 статьях в российских и международных научных изданиях, обсуждались на многих всероссийских и международных конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно её отражает.

Новизна работы состоит в том, что получены новые экспериментальные данные, выполнен их анализ и дана теоретическая интерпретация.

Важно отметить, что результаты, представленные в диссертации, получили широкую международную известность, о чем свидетельствует большое число цитирований работ Валявина Г.Г., в которых он часто является первым автором. Эти результаты, безусловно, будут востребованы, помимо САО РАН, и в других астрономических учреждениях России: Крымской астрофизической обсерватории (КРАО), Главной астрономической обсерватории в Пулково (ГАО РАН), Физико-техническом институте им. Иоффе (Санкт-Петербург), Институте астрономии (ИНАСАН), Институте космических исследований (ИКИ РАН), и др.

Перечисленные выше опечатки и неточности, а также замечания, высказанные при обсуждении результатов отдельных глав, ни в коей мере 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.

Таким образом, 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,
заведующий лабораторией солнечной активности
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт
солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук»
Демидов Михаил Леонидович

07.03.2025

Контактные данные:

тел.: 7(3952)564536, e-mail: demid@iszf.irk.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.03.03 – Физика Солнца

Адрес места работы:

664033, г.Иркутск, ул.Лермонтова, д.126-а,
ФГБУН ИСЗФ СО РАН, лаборатория солнечной активности
Тел.: 7(3952)564536; e-mail: uzel@iszf.irk.ru

Подпись сотрудника ИСЗФ СО РАН
М. Л. Демидова удостоверяю:
Ученый секретарь ИСЗФ СО РАН,
к.ф.м.н.

И. Г. Салухутдинова