

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(САО РАН)



Научная квалификационная работа

«Исследование влияния магнитных полей белых карликов на их эволюцию»

Аспирант Аитов В.Н.

Научный руководитель к.ф.-м.н. Валявин Г.Г.

**Лаборатория исследования звёздного
магнетизма**

Направление 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия

Нижний Архыз 2023

Цели и задачи НКР

- Проведение поляризационных наблюдений белых карликов с целью обнаружения новых кандидатов в магнитные белые карлики с экстремально большими магнитными полями (МБК) и подтверждения магнитной природы ряда других звезд из этого семейства для контроля селекции выборки МБК в объеме радиусом 25 пк.
- Построение и моделирование функции светимости магнитных белых карликов с экстремально большими магнитными полями. Сравнение этой функции с аналогичной функцией обычных белых карликов. Выявление их эволюционных различий.
- Анализ результатов физического эксперимента по торможению конвекции магнитным полем и их интерпретация в контексте эволюционного остывания МБК с полностью остановленным конвективным выносом тепла с их поверхностей.

Новизна

- Получены новые наблюдения круговой поляризации для 19 белых карликов. Выявлены 3 новых кандидата в белые карлики с экстремально сильными магнитными полями – LP 240–30, WD1633+572, WD0245+541.
- Впервые показано, что рост частоты встречаемости магнитных холодных белых карликов с возрастом не объясняется отличием масс этих объектов, от масс обычных белых карликов. В то же время, введение в модель остывания процесса торможения конвекции объясняет этот рост.
- Проведён эксперимент по торможению конвекции магнитным полем. Показано, что торможение конвекции магнитным полем увеличивает время остывания системы. Результат эксперимента аргументирует предположение о том, что глобальный контроль внешней конвекции сильными магнитными полями замедляет эволюционное остывание магнитных белых карликов по сравнению с обычными белыми карликами.

Актуальность

В настоящее время не существует теории эволюционного остывания одиночных магнитных белых карликов с экстремально сильными магнитными полями. И исходя из этого некоторые наблюдаемые особенности этих объектов остаются необъяснёнными до сих пор. Одним из таких эффектов является отмеченное рядом исследователей увеличение частоты встречаемости с возрастом этих объектов. Начиная с температур 14000К и меньше она существенно возрастает. Существует несколько возможных объяснений этого эффекта. Большие массы МБК (средняя масса $0.83 M_{\odot}$) относительно обычных ($0.6 M_{\odot}$), усиление магнитного поля с возрастом и торможение конвективного переноса энергии магнитным полем.

Научная и практическая значимость

В работе представлен новый наблюдательный материал по 19 белым карликам. Данные опубликованы и могут быть использованы для других исследований.

Построение функции светимости магнитных белых карликов позволит уточнить влияние различных процессов на их эволюцию. И в конечном итоге построить теорию остывания белых карликов в присутствии сильных магнитных полей.

Результаты эксперимента по торможению конвекции можно использовать для уточнения строения звезд с сильными магнитными полями. Кроме того они могут пригодиться в различных прикладных отраслях, таких как энергетика, системы охлаждения и т.д.

Структура НКР

Введение

Глава 1. Исторический обзор магнитных белых карликов

Глава 2. Широкополосные поляриметрические наблюдения белых карликов на 1-м телескопе САО РАН

Глава 3. Моделирование функции светимости магнитных белых карликов

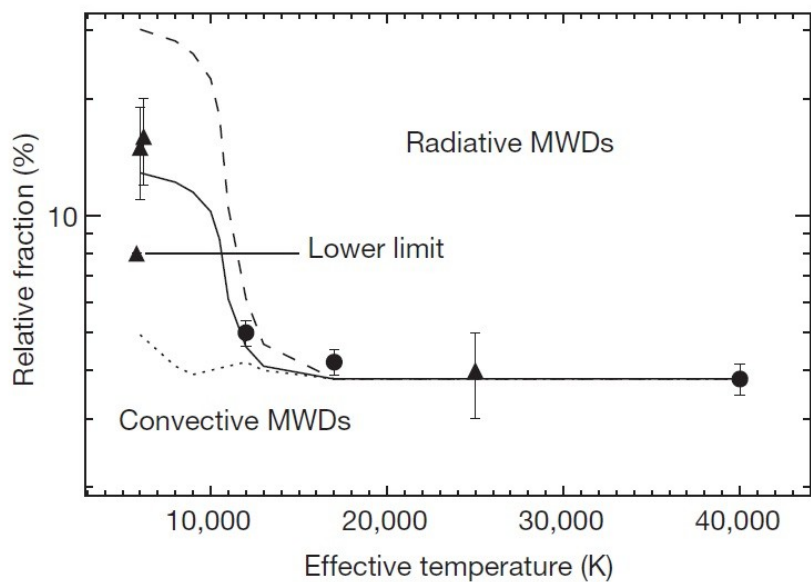
Глава 4. Экспериментальное подтверждение замедления остывания магнитной жидкости с подавленной конвекции внешним магнитным полем

Заключение

Литература

Глава 1. Исторический обзор магнитных белых карликов

- Обзор содержит основные исторические события связанные с открытием МБК как особой популяции звезд и последние результаты, ставящие вопросы часть которых исследовались мной в рамках моей квалификационной работы. Эти вопросы проиллюстрированы на рисунке слева. По горизонтальной оси отложены температуры МБК, по вертикальной – частота их встречаемости. Как можно видеть, начиная с температур 14000 К (температурная зона включения приповерхностной конвекции) частота встречаемости начинает расти. Моя работа посвящена объяснению этого эффекта и состоит из двух частей: перепроверке этой частоты (самый низкотемпературный бар), и моделированию эффекта путем введения в модель подавления конвективного выноса энергии магнитным полем.



Глава 2. Широкополосные поляриметрические наблюдения белых карликов на 1-м телескопе САО РАН

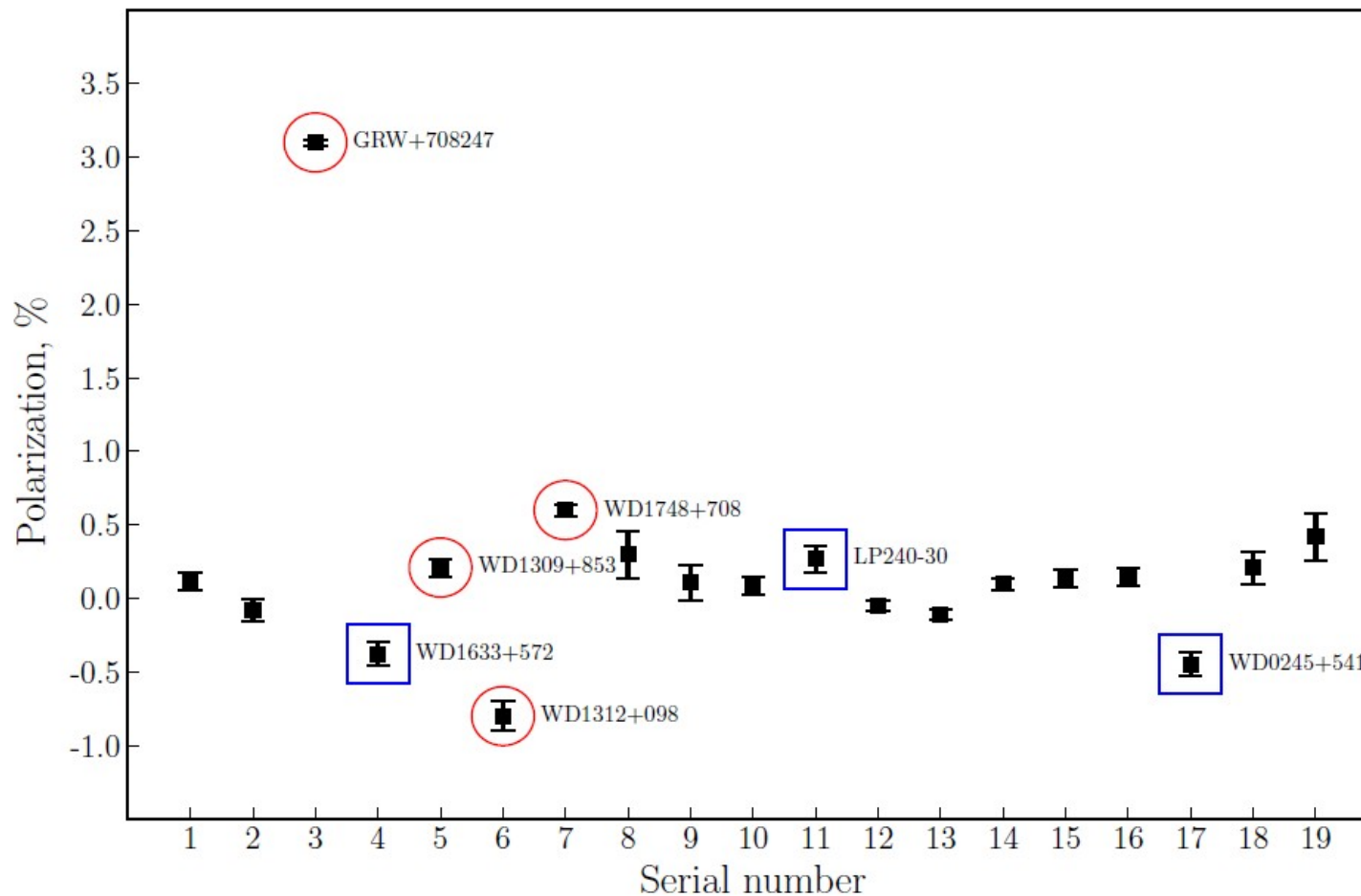
Сильномагнитные белые карлики демонстрируют значительную круговую поляризацию в континууме, поэтому для поиска новых объектов можно проводить фотометрические наблюдения для отбора кандидатов для последующего подтверждения спектральными методами.

Наблюдения проводились на телескопе Цейсс-1000, на фотометре-поляриметре ММРР. Объекты наблюдались в несколько различных ночей чтобы исключить магнитный кроссовер.

Проведены наблюдения 19 белых карликов. 4 магнитных для стандартизации.

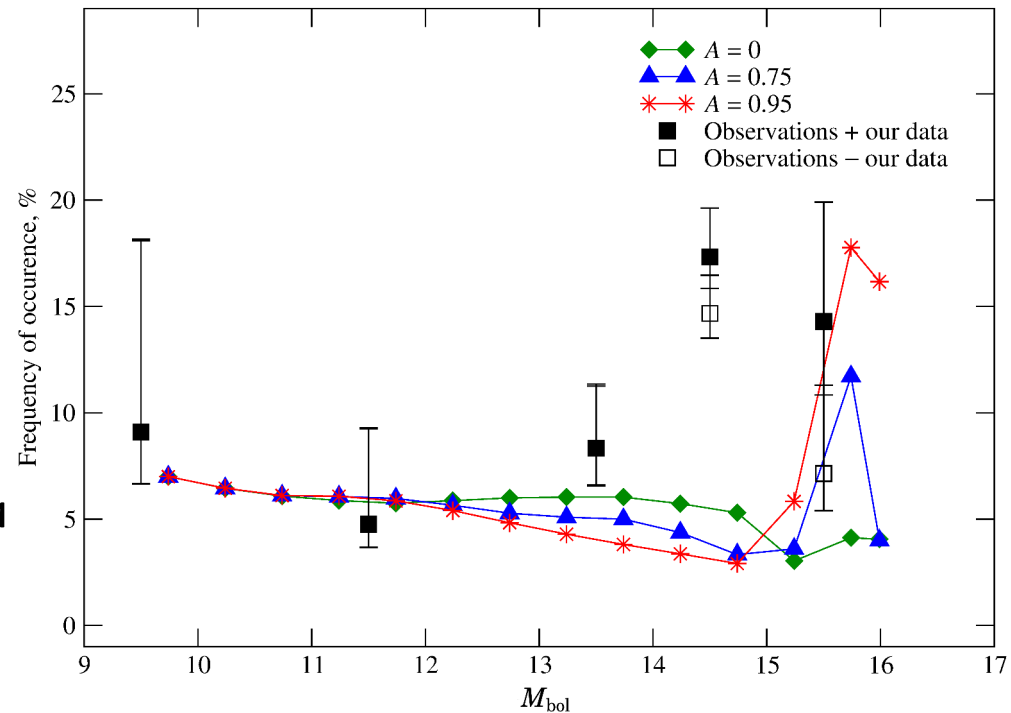
Среди 15 целевых объектов ($T < 7000$ K) отобраны 3 кандидата в магнитные.

Глава 2. Широкополосные поляриметрические наблюдения белых карликов на 1-м телескопе САО РАН



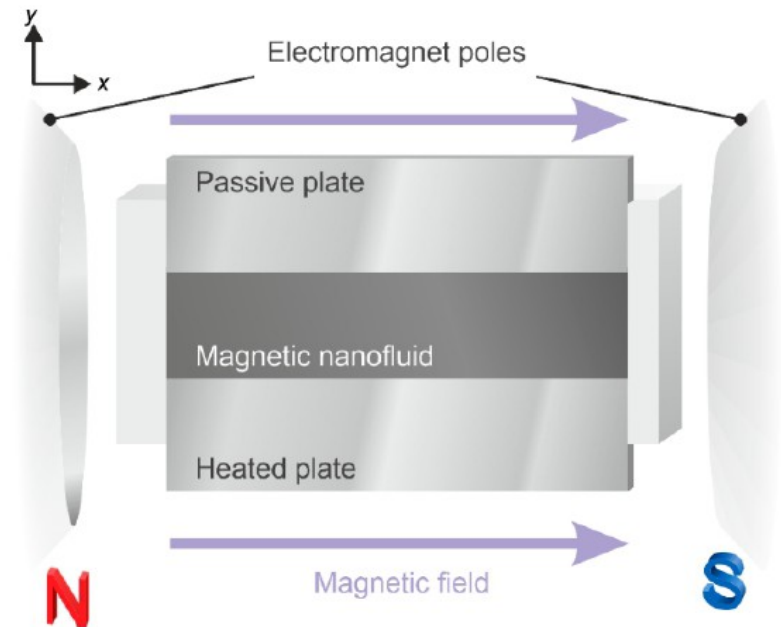
Глава 3. Моделирование функции светимости магнитных белых карликов

По результатам наблюдений и из литературы я построил и смоделировал функцию светимости МБК. Модель строилась для двух случаев: с учетом подавления конвекции магнитным полем и без него. Затем, в результате, эти модели были использованы для оценки частот встречаемости МБК с возрастом путем деления функции светимости для МБК на стандартную функцию светимости для белых карликов. Результат представлен на рисунке.

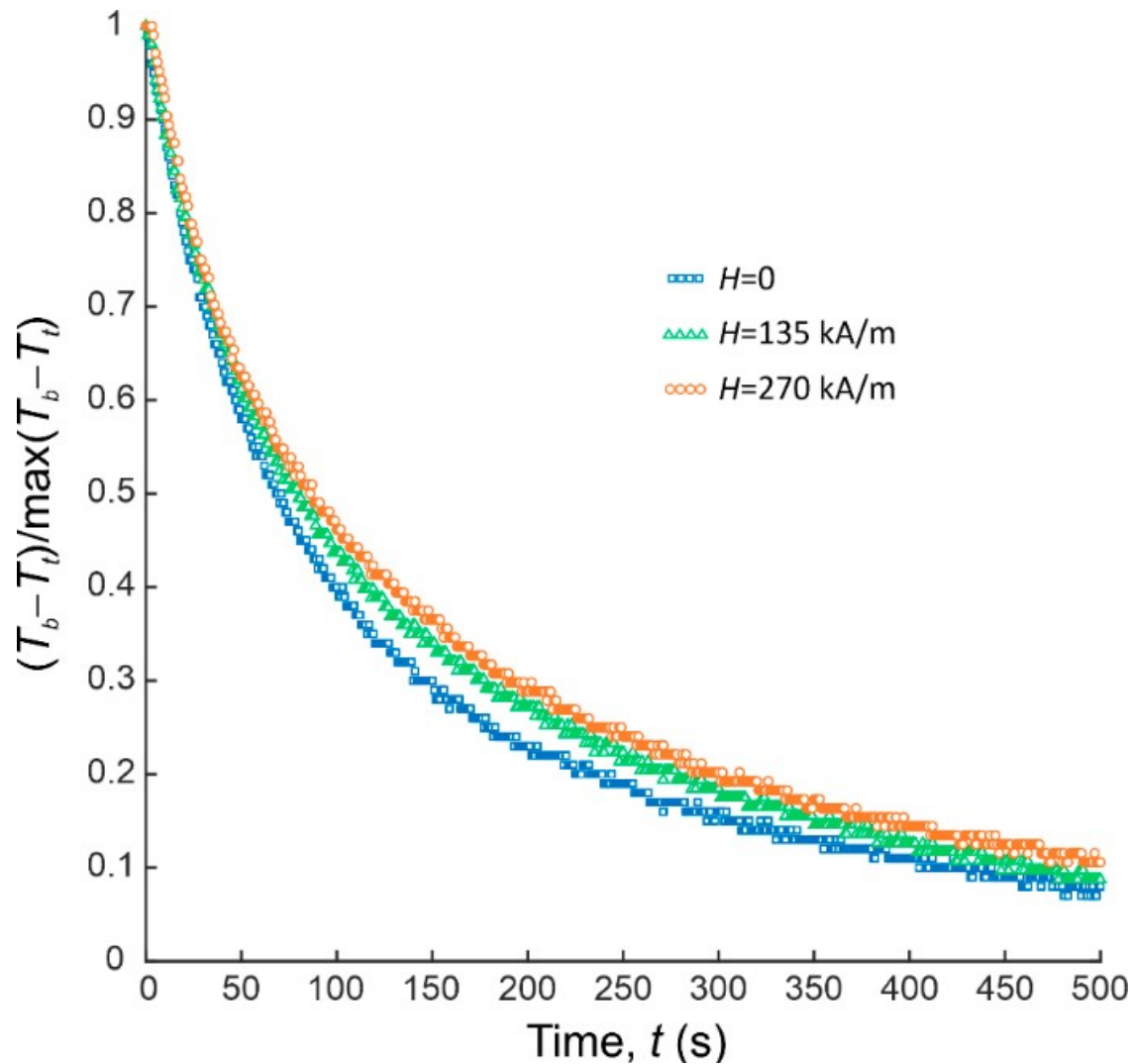


Глава 4. Экспериментальное подтверждение замедления остывания магнитной жидкости с подавленной конвекции внешним магнитным полем

Представленное выше моделирование является эмпирическим. Теории вопроса скорости эволюции МБК с подавленной конвекцией не существует. Поэтому наши астрофизические выводы мы решили подкрепить лабораторным экспериментом.



Глава 4. Экспериментальное подтверждение замедления остывания магнитной жидкости с подавленной конвекции внешним магнитным полем



Личный вклад автора

- Автором были проведены большая часть наблюдений на телескопе Цейсс-1000 на фотометре поляриметре ММРР, а также их обработка и анализ.
- Равный с руководителем вклад в построение функции светимости и определения частоты встречаемости магнитных белых карликов.
- Наравне с соавторами принимал участие в анализе эксперимента по торможению конвекции магнитным полем.

Апробация результатов

Результаты работы докладывались на семинарах САО РАН и докладывались на следующих конференциях:

- «IV Межрегиональная междисциплинарная молодежная научнопрактическая конференция МНПК», 2019, 10-13 июня, база отдыха ФИЦ ИПФ РАН «Варнавино», устный доклад, «Магнитные поля у белых карликов»
- «Physics of Stars and Planets: Atmosphere, Activity, Magnetic Fields», 2019, September 16-20, Shamakhy, устный доклад Комарова, «Observational Capacities of 1m Optical Telescope Zeiss-1000 at SAO RAS»
- «Наземная астрономия в России. XXI век», 2020, 21 – 25 сентября, САО РАН, устный доклад, «Поиск одиночных магнитных белых карликов»

Публикации по теме исследования

- A Search for Isolated Cool Magnetic White Dwarfs / Aitov, V. N. ; Valyavin, G. G. ; Valeev, A. F. ; Moskvitin, A. S. ; Mitiani, G. S. ; Emelianov, E. V. ; Fatkhullin, T. A. // Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Proceedings of the All-Russian Conference held 21-25 September, 2020 I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, D. O. Kudryavtsev, 2020, p. 153-156
- Magnetic Field Inhibition of Convective Heat Transfer in Magnetic Nanofluid / Zakinyan, A., Kunikin, S., Chernyshov, A., Aitov, A. / Magnetochemistry, 2021, 7(2), 21
- Исследование особенностей эволюции сильно замагниченных звезд — белых карликов. I. Наблюдения/ В. Н. Аитов, Г. Г. Валявин, А. Ф. Валеев, Г.Ш. Митиани, А. С. Москвитин, Э. В. Емельянов, Т. А. Фатхуллин, К. А. Антонюк, Г. А. Галазутдинов, А. Р. Закинян, С. А. Куникин // Астрофизический бюллетень, 2022, том 77, №3 , с. 333–340
- Исследование особенностей эволюции сильно замагниченных белых карликов и некоторых других звезд в условиях магнитоиндуцированного подавления у них конвективного выноса энергии. II. Моделирование / В. Н. Аитов, Г. Г. Валявин, А. Ф. Валеев, Г. А. Галазутдинов, А. С. Москвитин, Г.Ш. Митиани, Э. В. Емельянов, Т. А. Фатхуллин, К. А. Антонюк, А. Р. Закинян, С. А. Куникин // Астрофизический бюллетень, 2022, том 77, №3, с. 341–34
- ЦЕЙСС-1000 САО РАН: приборы и методы наблюдений / В. В. Комаров, А. С. Москвитин, В. Д. Бычков, А. Н. Буренков, С. В. Драбек, В. С. Шергин, Э. В. Емельянов, В. Н. Комарова, В. П. Романенко, В. Н. Аитов // астрофизический бюллетень, 2020, том 75, № 4, с. 547–564

Положения выносимые на защиту

- Были получены новые наблюдательные данные по 19 белым карликам. Среди 15 целевых объектов найдены 3 кандидата в магнитные белые карлики - LP 240–30, WD1633+572, WD0245+541.
- На основе моделирования частоты встречаемости магнитных белых карликов сделан вывод о том, что существенное её увеличение в холодной части не объясняется другим распределением по массам.
- По результатам проведения эксперимента по торможению конвекции магнитным полем сделан вывод о том, что теплопередача от ядра к поверхности при подавлении конвекции существенно снижается. Таким образом магнитные белые карлики с полями больше нескольких мегагаусс, где конвекция должны быть подавлена по всей площади должны остывать медленнее.

Спасибо за внимание!