

ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. И. МЕЧНИКОВА

На правах рукописи

МАЛАНУШЕНКО Виктор Петрович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ
И СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ
МАГНИТНЫХ ЗВЕЗД .**

Специальность 01.03.02 - астрофизика,
радиоастрономия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Одесса - 1993



Ab 26.830

Ab 26.831

Работа выполнена в Крымской астрофизической обсерватории.

Научный руководитель:

академик Российской Академии наук А.А.Боярчук

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат.наук Ю.В.Глаголевский

кандидат физ.-мат. наук И.Л.Андронов

Ведущее учреждение:

Институт астрономии Российской Академии Наук

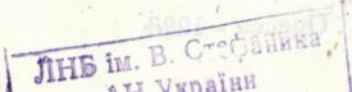
Защита состоится " 26 " марта 1993 г. в " 14 " час. на заседании специализированного совета К068.24.П по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора физико-математических наук при Одесском государственном университете по адресу: 270000, г.Одесса, ул. Щепкина 14, Большая физическая аудитория.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского университета им. И.И.Мечникова (ул. Советской Армии, 24).

Автореферат разослан " 12 " февраля 1993г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доцент

И.М.Ткаченко



Актуальность работы. Магнитные химически пекулярные звезды - это звезды спектральных классов от В до F, принадлежащие главной последовательности. Основными отличиями от нормальных А-звезд являются: а) аномальное усиление линий некоторых химических элементов в спектре; б) спектральная и фотометрическая переменность с периодами порядка 0.5-20 дней, у отдельных звезд - около 100 дней; в) Более низкие скорости вращения - примерно в два раза меньше нормальных звезд тех же спектральных классов; г) наличие сильного магнитного поля, достигающего десятков тысяч гаусс. Перечисленные особенности пекулярных звезд могут проявляться в самых различных комбинациях. Одной из наиболее интересных особенностей магнитных звезд является скоррелированность изменений основных параметров - спектра, блеска, цвета и магнитного поля. Для объяснения наблюдаемой переменности принята модель наклонного магнитного ротора. В рамках этой модели не совпадают три основных направления: ось вращения, магнитная ось и направление на луч зрения.

Уже к концу 50-ых годов сложились определенные представления о свойствах и особенностях магнитных химически пекулярных звезд. Это звезды главной последовательности ранних спектральных классов со спокойной атмосферой, находящейся в лучистом равновесии, ничтожно малой конвекцией, которая сдерживается сильным регулярным магнитным полем. Вся переменность обусловлена неравномерным распределением химических элементов и физических условий по поверхности звезды. Основой для теорий, объясняющих химические аномалии, является гипотеза Мишо, которая состоит в том, что под действием лучистого давления в спокойной атмосфере (без перемешивания) происходит селективное обогащение верхних слоев атмосферы рядом химических элементов, а часть элементов под действием гравитации, наоборот двигаются в более низкие слои, создавая их видимый дефицит.

В некоторых работах, начиная с пятидесятых годов появлялись сообщения о переменности в течение нескольких часов, десятков минут - которая не укладывалась в рамки модели наклонного ротатора и свидетельствовала о протекании активных процессов на поверхности. Однако подобные сообщения носили нерегулярный характер и, как правило, не подтверждались при повторных наблюдениях. Амплитуда зарегистрированных изменений не превышала нескольких процентов и легко могла быть отнесена за счет низкой точности наблюдений.

В последующие десятилетия были предприняты определенные усилия для систематических наблюдений переменности подобного рода. В ряде случаев исследователи публиковали сообщения о быстрой переменности по наблюдениям линейной поляризации и узкополосной фотометрии в ядрах водородных линий. В последнее время, благодаря работам Куртца, был открыт новый подкласс магнитных звезд - γ Ap-stars - быстро пульсирующих магнитных звезд. По современным представлениям это Ap звезды, показывающие очень малые вариации блеска, обычно несколько тысячных звездной величины в фильтре В, и имеющих периоды пульсаций от нескольких минут до примерно 15 минут.

Учитывая несомненную важность подобных исследований для понимания феномена магнитных звезд и физических процессов, его обуславливающих, в Крымской астрофизической обсерватории с 1973 г проводились систематические наблюдения спектральной и фотометрической переменности ряда магнитных звезд. Эти наблюдения проводились по однородной методике с использованием одних и тех же приборов. Цель наблюдений - всестороннее изучение феномена переменности магнитных звезд, изучение переменности на различных шкалах времени. Программа спектральных наблюдений продолжалась свыше 11 лет для ряда Ap звезд. По избранным объектам был накоплен значительный материал. Так, для 53 Cam \sim 2500 спектров, для HD215441 \sim 3500 спектров. Совершенно

естественно, что обработка и анализ такого объема информации потребовали создание специальной методики обработки, поиск приемлемых методов анализа переменности, создание пакета программ по спектральной обработке и статистическому анализу результатов.

Целью работы является:

1. Разработка методики спектральных наблюдений, методики автоматической обработки и анализа большого количества спектрограмм.

2. Поиск и оценка параметров спектральной переменности в течение ночи и от ночи к ночи для двух магнитных Ар звезд: 53Cam и HD215441.

3. Поиск и оценка параметров фотометрической переменности четырех химически пекулярных Ар звезд: 53Cam, β CrB, γ Eri и HD224801.

Научная новизна работы определяется прежде всего следующими результатами:

1. Получены однородные ряды наблюдений спектров с высоким временным разрешением двух магнитных звезд. Временное разрешение при этом не превышало 1.5 - 2.0 мин. Общая продолжительность наблюдений для 53Cam составляет 6 лет (2500 спектров) и для HD215441 составляет 11 лет (3500 спектров). Выполнен статистический анализ вариаций остаточных интенсивностей в спектрах и эквивалентных ширин отдельных линий.

2. У 53Cam обнаружены быстрые вариации интенсивности в ядрах линий водорода и линий некоторых металлов. Оценена амплитуда переменности, выявлена связь амплитуды переменности с фазой периода вращения звезды. Впервые обнаружены вариации эквивалентных ширин водородных линий H_{γ} - H_{ϵ} с фазой периода вращения.

3. В результате исследований HD215441:

а) Установлена верхняя граница быстрой переменности спектра: амплитуда вариаций остаточных интенсивностей не превышает 4%.

б) Впервые обнаружены вариации эквивалентных ширины пяти водородных линий: H_{α} - H_{ϵ} с фазой периода вращения звезды. Оценена амплитуда вариаций. Установлено, что амплитуда вариаций уменьшается с увеличением номера водородной линии.

4. Проведены длинные ряды патрульных фотометрических наблюдений четырех магнитных звезд: β СтВ, 53Cam, γ Eri, HD224801. Общая продолжительность наблюдений каждой из них превышает ~ 40 часов в течение одного - двух наблюдательных сезонов. Впервые подобные наблюдения проведены в узком ($\Delta\lambda \sim 30 \text{ \AA}$) спектральном диапазоне, центрированном на хорошо известные депрессии в распределении энергии магнитных звезд $\lambda 4200$ и $\lambda 5200 \text{ \AA}$, которые служат индикатором величины поверхностного магнитного поля. У трех из четырех исследованных звезд обнаружены вариации блеска как в течение ночи так и от ночи к ночи. Определены периоды вариаций, установлена связь амплитуды быстрых вариаций блеска с периодами вращений этих звезд.

Практическая ценность работы.

Практическая ценность работы состоит прежде всего в полученных и опубликованных новых результатах исследования переменности Ar-звезд, а также:

1. Однородный материал спектральных наблюдений двух магнитных звезд, а также результаты, полученные из его анализа - особенно данные о переменности пяти основных линий бальмеровской серии водорода послужат дальнейшему развитию теории моделей атмосфер звезд с большими магнитными полями.

2. Результаты фотометрических наблюдений магнитных

звезд дополнили данные о сейсмичности Ср звезд. Расширен список звезд, обладающих низкочастотными пульсациями блеска. Полученные результаты могут быть использованы для построения динамических моделей атмосфер пульсирующих звезд.

3. Собранный очень большой спектральный материал наблюдений звезды Бэбкока HD215441 представлен как в форме параметров отдельных спектральных линий, так и в форме атласа спектрограмм для отдельных ночей наблюдений. Подобное представление материала позволяет проводить прогнозирование будущих исследований переменности этой уникальной магнитной звезды в практически всем видимом спектральном диапазоне ($\lambda\lambda$ 3800 - 6800 Å) и фактически представляет историю "жизни" звезды за 11 лет.

Апробация работы.

Основные результаты, полученные в диссертации, докладывались на : IVth Conference of Subcommission No.4 "Magnetic Stars" (SAO, 1980); 5th Conference of Subcommission No.4 "Magnetic Stars" (Budapest, 1982); 5th Finish-Soviet Astronomical Symposium (Seili,1983); 6th Conference of Subcommission No.4 "Magnetic Stars" (Salaspils,1984); IAU Coll.No.90 "Upper Main Sequence Stars with Anomalous Abundances", (Крым,1985); 7th Conference of Subcommission No.4 "Magnetic Stars"(CAO,1987); 6th Finish-Soviet Astronomical Symposium (Tallinn,1988), IAU Coll.No.138 "Peculiar Versus Normal Phenomena in A-type and Related Stars" (Trieste,1992)

На защиту выносятся:

1. Методика наблюдений спектральной переменности с высоким временным разрешением и методика высокоточной спектрофотометрической обработки наблюдательных данных с последующим статистическим анализом.

2. Обнаружение быстрой спектральной переменности у

звезды 53Cam.

3. Установление верхней границы амплитуды возможной быстрой переменности спектра у звезды HD215441.

4. Обнаружение переменности эквивалентных ширин водородных линий с фазой периода вращения у двух магнитных звезд: 53Cam и HD215441.

5. Обнаружение быстрой мультипериодической переменности потока в центрах депрессий $\lambda 4200$ и $\lambda 5200 \text{ \AA}$ у трех из четырех исследованных магнитных Ар звезд (53Cam, β CrB, и HD224801).

Структура диссертации.

В предлагаемой диссертации на основе спектральных и фотометрических наблюдений с применением рафинированных методов обработки и математического анализа результатов рассмотрена спектральная переменность двух магнитных Ар звезд 53Cam и HD215441; фотометрическая переменность четырех магнитных Ар звезд: 53Cam, β CrB, γ Equ и HD224801 на временных интервалах от десятков минут до десятков дней.

Диссертация состоит из общего введения, четырех глав, заключения, списка цитированной литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 173 страницы. Из них содержится 83 страницы машинописного текста, 57 рисунков, 15 таблиц, приложения и атласа спектров. Библиография состоит из 144 названий работ. По теме диссертации опубликовано 8 работ, их перечень приводится в заключении.

Во введении дается обоснование темы диссертации и общая характеристика работы, воспроизведенная выше.

В главе 1 описывается аппаратный комплекс, при помощи которого получены спектры Ар звезд и методика наблюдений; описана методика обработки, статистического анализа переменности и выделения переменных участков спектра, оценки параметров найденной переменности.

В главе 2 обсуждаются результаты поиска спектральной переменности двух магнитных Ар звезд: 53Cam и HD215441.

В главе 3 описаны аппаратурный комплекс для фотометрических исследований, обзор по основным методам выделения скрытой периодичности, описаны методы и программы, применяемые автором для исследования фотометрической переменности Ар звезд.

В главе 4 обсуждаются результаты фотометрических исследований переменности в узких спектральных диапазонах четырех Ар-звезд: 53Cam, β CrB, γ Equ и HD224801.

В заключении подведены итоги основных результатов работы и приводится список публикаций автора по теме диссертации.

В приложении приведены: таблицы исходных данных фотометрических наблюдений звезды HD224801 ; атлас спектров звезды HD215441.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Предложена методика наблюдений спектральной переменности с высоким временным разрешением в течение нескольких часов наблюдений.

Разработана методика обработки фотографических спектрограмм, и создан пакет программ, которые позволяют:

строить характеристические кривые и оценивать параметры фотографического шума в зависимости от плотности почернения негатива; в автоматическом режиме производить проведение континуума с высокой степенью однородности; производить в автоматическом режиме совмещение спектрограмм, а также:

а) получить средние за ночь спектрограммы с отношением сигнал/шум >100 .

б) проводить статистический анализ в каждой точке среднего спектра, который позволяет сделать однозначный вывод о присутствии/отсутствии переменных участков спектра в течение ночи наблюдений, а также вычислить среднеквадратичную амплитуду переменности (или оценить ее верхнюю границу).

2. По спектральным наблюдениям 53Cam, проведенным в течение 16 ночей, с временным разрешением около 1.5 мин, была проведена полная обработка и статистический анализ, что позволило получить следующие результаты:

а) Зарегистрированы слабые вариации остаточных интенсивностей некоторых линий в течение ночи, амплитуда которых меняется с фазой периода вращения звезды и достигает максимального значения порядка десяти процентов. Для объяснения этих вариаций требуется привлечение дополнительного механизма - источника переменности, амплитуда действия которого меняется с фазой вращения звезды (о чем свидетельствуют также фотометрические наблюдения этой звезды, описанные далее в главе 4).

б) Подтверждено присутствие отчетливых изменений эквивалентных ширин некоторых линий металлов с фазой периода вращения звезды, которые имеют известные объяснения в рамках модели наклонного ротатора.

в) Обнаружена переменность эквивалентных ширин и центральных глубин линий водорода H_γ - H_ϵ с фазой периода вращения. При этом меняется форма контуров линий.

3. Спектральные наблюдения звезды HD215441 проводились в течение 11 лет, всего 36 ночей наблюдений (3500 спектров). Полная обработка и анализ результатов позволили сделать следующие выводы:

а) Подтвержден вывод о том, что для практически всех линий металлов эквивалентные ширины претерпевают изме-

нения с фазой периода вращения. При этом переменность W_λ для различных линий синхронна изменениям N_{eff} и блеска звезды.

б) Обнаружена переменность эквивалентных ширин пяти водородных линий. Анализ их поведения в зависимости от фазы периода вращения позволил устранить противоречия между имевшимися ранее наблюдениями для линий H_β и H_δ . Характер переменности, а именно уменьшение амплитуды регулярной переменности с увеличением номера водородной линии, получен впервые и не имеет объяснения в рамках существующих на сегодняшний день моделей атмосфер.

в) По результатам статистического анализа быстрой переменности в течение ночи сделан вывод о том, что амплитуда вариаций слаба и с вероятностью 95% не превышает 4% остаточных интенсивностей. Такой же вывод сделан отдельно по измерениям W_λ линии H_β .

г) В приложении к тексту диссертации приводится атлас средних спектров HD215441 со статистическими оценками переменности. Атлас имеет самостоятельную ценность, так как средние спектрограммы представляют собой материал, обработанный по единой методике, высокой степени однородности и низким уровнем шума.

4. По результатам фотометрических узкополосных наблюдений 53Cam в течение 16 ночей получены следующие результаты:

а) Присутствует переменность с фазой периода вращения звезды. Ее амплитуда не превышает $0.^m03$. Форма кривой блеска хорошо коррелирует с переменностью в других фотометрических полосах и с переменностью эффективного магнитного поля звезды.

б) Обнаружены условно-периодические изменения блеска звезды в течение ночи, сложной формы, которые можно опи-

сать суперпозицией трех простых синусоидальных колебаний с периодами 20.1400, 27.5828 и 79.2381 мин. При этом фазы колебаний постоянны на протяжении всего интервала наблюдений (более года), а амплитуды колебаний переменны и меняются с фазой периода вращения звезды.

5. По результатам фотометрических узкополосных наблюдений β CгV в течение 10 ночей получены следующие результаты:

а) Присутствуют отчетливые изменения блеска звезды с фазой вращения звезды, которые находят объяснения в рамках модели наклонного ротатора. Причиной переменности депрессии являются вариации интенсивностей линий, ее образующих.

б) Более слабые изменения в течение ночи с $P_1=196.9$, $P_2=158.3$ и $P_3=58.57$ мин требуют привлечения дополнительного источника физической переменности. Возможными причинами такого типа изменений являются особенности структуры магнитных полей и неоднородности атмосфер магнитных звезд.

6. Для γ Eqr, по результатам 25 ночей фотометрических узкополосных наблюдений, были получены следующие результаты:

а) Среднее значение по 25 ночам наблюдений $\Delta m = 0.^m1785 \pm 0.^m0007$. Средние разности Δm от ночи к ночи меняются на величину не более $\sim 0.^m014$. Делается вывод о постоянстве средних за ночь значений Δm для 15 ночей наблюдений в 1985 году и 10 ночей наблюдений в 1986 году.

б) На спектре мощности в интервале пробных периодов от $0.05d^{-1}$ до $400 d^{-1}$ не было обнаружено значимых пиков с амплитудой $\geq 9m\text{mag}$.

Делается вывод о замечательной постоянности блеска звезды γ Eqr в полосе депрессии $\lambda 5200 \text{ \AA}$ как внутри ночи так и

от ночи к ночи.

7. По результатам анализа 9 ночей фотометрических узкополосных наблюдений HD224801 получены следующие результаты:

а) Достаточно уверенное согласие полученных средних оценок блеска с кривой блеска, полученной ранее другими авторами.

б) Отсутствие коротковременных колебаний в 1987 г.

в) Наличие сложной картины коротковременных колебаний по наблюдениям 1988 г.

г) Предлагается модель мультипериодического колебания с периодами $P_1 \sim 0.07460$, $P_2 \sim 0.07411$ и $P_3 \sim 0.01803$ дня, которая хорошо соответствует наблюдениям 1988 г. и не противоречит наблюдениям 1987 г. Эта модель позволяет объяснить противоречия в опубликованных ранее наблюдениях коротковременных колебаний блеска HD224801.

**Основное содержание диссертации изложено
в следующих статьях:**

1. Полосухина Н.С., Чуваев К.К., Маланушенко В.П. О быстрой переменности спектра магнитной звезды 53Cam Изв. КрАО, 64,31,1981.

2. Бурнашев В.И., Полосухина Н.С., Маланушенко В.П. Результаты узкополосной фотометрии магнитной переменной звезды 53 Жирафа (53Cam) Письма в АЖ, 9,286,1983.

3. Бурнашев В.И., Маланушенко В.П., Полосухина Н.С. Результаты узкополосной фотометрии магнитно-переменной звезды β CrV Изв.КрАО, 74,42,1986.

4. Polosukhina N.S., Malanushenko V.P., Tuominen T., Karttunen H., Virtanen H. Investigations of the magnetic star 53Cam variations using the spectra of high time resolution in IAU Coll.

No.90 "Upper Main Sequence Stars with Anomalous Abundance" by D.Reidel Publ.Company, 1986, p.243.

5. Маланушенко В.П. The Variable Spectral Regions Allocation Technique Based on the Analysis of High Time - Resolved Spectrograms "Proceedings of the Sixth Soviet-Finnish Astronomical Meeting", Публ.Тартусской обсерватории, No92, 60,1988.

6. Burnashev V.I., Malanushenko V.P., Polosukhina N.S. The Narrow-Band Photometry of the Magnetic Ap Star γ Equ в "Magnetic Stars", Материалы Международного совещания по проблеме "Физика и эволюция звезд", Ленинград, "Наука", 1988, стр.173.

7. Маланушенко И.П., Полосухина Н.С., Томова М., Анализ фотометрических наблюдений Ap звезды HD224801 (1987-1988 гг.) Изв.КрАО, **84,63,1992.**

8. Malanushenko V.P., Polosukhina N.S., Weiss W.W. Spectrum Variations of HD215441 (Babcock's star) Astron.Astrophys., **259, 567, 1992**

Примечание. В работах 2, 3, 6, 7 автор участвовал в постановке задачи и обработке данных; в работах 1, 4, 8 автор участвовал в постановке задачи, наблюдениях и обработке данных.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность академику А.А.Боярчуку за руководство настоящей работой; канд. физ.-мат. наук Н.С.Полосухиной - за многолетнее сотрудничество и постоянный интерес к моей работе. Также автор приносит глубокую благодарность кан. физ.-мат. наук К.К.Чуваеву - за постоянное внимание к настоящей работе, многочисленные консультации, помощь в наблюдениях и в проведении лабораторных исследований.

М.А.Ф.

Меланушенико Виктор Петрович
Исследование фотометрической и спектральной
переменности переменных звезд

Главно в избор 3.3.33. Подписано в печать 8.3.33.
Формат 62x84. Бумага писма. Издат. Подарникова
Учредител. 0.74. Учредител. 0.91
Тираж 100 экз. Заказ 600. Редакция
Издательский дом РАО. 334413, г. Иваново, Крым

No. 90 "Upper Main Sequence Stars with Anomalous Abundance" by D. Reidel Publ. Company, 1986, p. 243.

3. Маланушенко В.П. The Variable Spectral Regions Allocation Technique Based on the Analysis of High Time-Resolved Spectrograms "Proceedings of the Sixth Soviet Union Astronomical Meeting", Изд. Крымской государственной Науч. 69 1988.

6. Burnashev V.L., Malanushenko V.P., Polovukhina N.S. The Narrow-Band Photometry of the Magnetic Ap Stars Eqs 2 "Magnetic Stars", Материалы Международной конференции по проблеме "Излучение и эволюция звезд" Мюнхенская, 1987, стр. 173.

7. Маланушенко В.П., Половухина Н.С. Числовая оценка фотометрических наблюдений Ap звезд. КРАО, 1987-1988 г.г. Изв. КРАО, 84, 63, 1991.

8. Malanushenko V.P., Polovukhina N.S., Burnashev V.L. Spectral Variations of HD215441 (B10shoch'zvezda) "Astron. Zhurn.", 236, 567, 1992.

Примечания: В работах 2, 3, 6, 7 автор участвовал в постановке задачи и обработке данных; в работах 1, 4, 5 автор участвовал в постановке задачи, наблюдениях и обработке данных.

Автор считает своим приятным делом выразить благодарность

Маланушенко Виктор Петрович
Исследование фотометрической и спектральной
переменности магнитных звезд

Сдано в набор 2.2.93. Подписано в печать 8.2.93.
 Формат 60x84. Бумага писчая. Печать ротопринтная.

Усл.печ.л. 0,74. Усл.кр.-отт. 0,97

Тираж 100 экз. Заказ 600. Бесплатно.

Множительный цех КРАО, 334413, п.Научный, Крым