

ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. И. И. МЕЧНИКОВА

На правах рукописи

МКРТИЧЯН Давид Егишевич

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ  
ПРОЯВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИОННОЙ  
АКТИВНОСТИ ЗВЕЗД НИЖНЕЙ ЧАСТИ  
ПОЛОСЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ

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



Работа выполнена в астрономической обсерватории Одесского университета.

Научный руководитель:

кандидат физ.-мат. наук Ю.С.Романов

Официальные оппоненты:

доктор физ.мат.наук И.А.Климишин

кандидат физ.мат.наук А.А.Памятных

Ведущее учреждение:

Крымская астрофизическая обсерватория

Защита состоится "14."...мая..... 1993г. в "14." час.  
на заседании специализированного совета К068.24.11 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук при Одесском государственном университете по адресу: 270000, г.Одесса, ул. Петра Великого 2, Большая физическая аудитория.

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

Автореферат разослан "16."...апреля..... 1993г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор физ.-мат. наук.

А.В.Затовский

**Актуальность работы.** В последнее десятилетие благодаря быстрому развитию теории звездных пульсаций и успехам наблюдательной астрофизики возникло новое направление в современной астрофизике - звездная (солнечная) сейсмология. Практическая мощь звездной сейсмологии объясняется тем, что обнаруженные и идентифицированные, по фотометрическим и спектральным наблюдениям, частоты мод собственных нерадиальных осцилляций звезд дают уникальную информацию о внутреннем строении звезд, недоступную другим методам исследований. Наибольший интерес для звездной сейсмологии представляют пульсирующие  $\delta$  Sct и CP2 звезды нижней части полосы неустойчивости у пересечения ее с главной последовательностью, теоретические расчеты пульсационных моделей которых, показывают неустойчивость, относительно пульсаций, обширного спектра радиальных и нерадиальных мод низких, промежуточных и высоких степеней  $l$ . Это дает уникальную возможность применения хорошо развитых методов солнечной сейсмологии для определения детального внутреннего строения звезд, стратификации плотности, температуры, давления с глубиной, градиента химсостава, дифференциального вращения и т.д..

Однако, на данном этапе развития, звездная сейсмология находится на стадии определения интегральных параметров звезд, что связано прежде всего с малой численностью фотометрических и спектральных наблюдательных данных необходимого качества и узостью  $l$ -спектра мод доступных для обнаружения из-за специфики звездных наблюдений, т.е. наблюдений оптически неразрешаемых дисков звезд. В силу пространственной структуры нерадиальных мод проблема их обнаружения и идентификации одна - из главных задач практической астросейсмологии.

Решение этих задач применительно к звездам нижней части полосы неустойчивости требует проведения фотометрических и спектральных наблюдений с целью поиска и исследований

фотометрических и спектральных проявлений их пульсационной активности, идентификации спектра возбужденных мод, а также разработки новых чувствительных методов обнаружения и идентификации мод нерадиальных осцилляций.

### Целью работы является:

1. Получить фотометрический и спектральный материал который бы позволил выяснить пульсационную активность F0 IV звезды  $\tau$  Cyg, установить ее принадлежность к звездам типа  $\delta$  Sct и исследовать спектр возбуждаемых мод. На основе литературных данных исследовать орбитальное движение  $\tau$  Cyg.

2. Исследовать спектральную переменность водородной линии  $H_{\alpha}$  у переменной F2 IV звезды типа  $\delta$  Sct  $v$  UMa и идентифицировать пульсационные периоды.

3. Исследовать спектральную переменность водородной линии  $H_{\alpha}$  у заподозренной в переменности F0 IV звезды 23 UMa. Установить принадлежность ее к звездам типа  $\delta$  Sct и идентифицировать возбужденные пульсационные моды.

4. Исследовать влияние поверхностных неоднородностей в распределении химических элементов на спектральные проявления нерадиальных пульсаций у CP2-звезд.

5. Разработать методику постановки наблюдений, обнаружения и идентификации нерадиальных пульсаций низких, промежуточных и высоких степеней  $l$  у CP2-звезд.

**Научная новизна** работы определяется прежде всего следующими результатами:

1. По полученным в 1986 г. фотометрическим наблюдениям впервые обнаружена и подтверждена по фотометрическим данным 1989 г. быстрая переменность блеска  $\tau$  Cyg с периодом 40 минут. Обнаруженный период идентифицирован с пятым обертоном мод низких степеней  $l < 4$ . Подтверждена принадлежность  $\tau$  Cyg к звездам типа  $\delta$  Sct. Обнаружены свидетельства спектральной переменности линии K CaII. На

основе литературных данных построена орбитальная кривая лучевых скоростей  $\tau$  Cyg.

2. У пульсирующей звезды типа  $\delta$  Sct  $\nu$  UMa обнаружена переменность лучевых скоростей водородной линии  $H_\alpha$  с периодом 0.063 суток и амплитудой  $2K=12.3$  км/с, интерпретированная как вызванная с наибольшей вероятностью возбуждением третьего радиального обертона, возможно находящегося в резонансе с секториальными модами степени  $l=16$  и периодом 0.066 суток обнаруженными позднее другими авторами.

3. У заподозренной переменной звезды 23 UMa по лучевым скоростям водородной линии  $H_\alpha$  впервые для  $\delta$  Sct звезд обнаружен и идентифицирован мультипериодический спектр возбужденных высокообертоновых  $5 < n < 15$  акустических мод с эквидистантной структурой частотного спектра. Впервые для  $\delta$  Sct звезд построена эшелле-диаграмма для частотного спектра 23 UMa мод, показывающая разделение спектра на моды четных и нечетных степеней  $l$ . По значению "большого расщепления"  $\Delta\nu_0 = 51 \mu\text{Гц}$  и эффективной температуре установлено положение 23 UMa на диаграмме Герцшпрунга-Рессела как звезды с массой 1.6-1.7  $M_\odot$  на стадии начала оболочечного горения водорода.

4. На модельных расчетах исследовано влияние поверхностных неоднородностей в распределении химических элементов на пульсационных изменениях профилей спектральных линий у CP-2 звезд. Показано несоответствие истинных и наблюдаемых из пульсационных изменений профилей линий квантовых чисел  $l$  и  $m$  характеризующих пространственную структуру мод.

5. Впервые обоснована и подтверждена на основе модельных расчетов, возможность увеличения чувствительности обнаружения (вплоть до 2-3 порядков) у CP2 звезд нерадиальных мод промежуточных и высоких степеней  $l > 3$ . Для CP2 звезд введено понятие "периодический пространственный фильтр".

Для различных конфигураций поверхностных распределений химических элементов, выполнены модельные расчеты периодических пространственных фильтров, амплитуд и фаз пульсационных лучевых скоростей.

6. Предложена новая чувствительная спектральная методика постановки наблюдений, обнаружения и пространственной фильтрации нерадиальных осцилляций у CP2 звезд, эквивалентная наблюдениям "звезды как Солнца".

### Практическая ценность работы.

Важнейшей практической ценностью работы являются прежде всего:

1. Обнаружение по фотометрическим и спектральным наблюдениям у избранных  $\delta$  Sct звезд спектрального класса F0-F2 IV возбужденных акустических р-мод промежуточных и высоких обертонов. Факт обнаружения мод промежуточных и высоких обертонов позволяет: а) по видимому, по новому взглянуть на проблему связи пульсационной активности  $\delta$  Sct звезд и быстропульсирующих холодных (A7-F0) CP2-звезд, так как ранее предполагались различными механизмы возбуждающие их колебания; б) поставить задачу поиска как новых быстропульсирующих  $\delta$  Sct звезд так и низкообертоновых пульсаций у холодных CP2 звезд.

2. Моделирование спектральных проявлений нерадиальных пульсаций у звезд с неоднородным поверхностным распределением химических элементов.

3. Разработка для CP2-звезд новой чувствительной спектральной методики постановки наблюдений, обнаружения по доплеровским сдвигам спектральных линий и идентификации мод нерадиальных осцилляций низких, промежуточных и высоких степеней  $l$ . Результаты моделирования пульсационных изменений профилей линий и лучевых скоростей могут быть использованы для идентификации мод у различных типов бы-

стро и медленно вращающихся звезд с неоднородным поверхностным распределением химических элементов или локальных профилей. Методика может быть использована для корректной постановки наблюдений и пространственной фильтрации нерадиальных осцилляций в случае звезд с поверхностным неоднородным распределением химических элементов.

### **Апробация работы.**

Работы по теме диссертации докладывались: на Всесоюзной конференции "Проблемы астрономии" (Одесса, 1987); 7th Conference of Subcommittee No.4 "Magnetic Stars" (CAO, 1987); на конференции молодых астрофизиков "Нестационарные звезды" (Бюракан, 1988); на международной конференции "Stellar Magnetism" (CAO, 1991); IAU Coll. No. 137 "Inside the Stars" (Vienna, 1992), а также на семинарах Одесской обсерватории и Крымской астрофизической обсерватории.

### **На защиту выносятся:**

1. Результаты фотометрических и спектральных исследований  $\tau$  Cyg, обнаружение и интерпретация короткопериодических осцилляций блеска с периодом 40 минут, результаты исследования орбитальной лучевой скорости  $\tau$  Cyg.

2. Результаты спектрального исследования водородной линии  $H_{\alpha}$  у пульсирующей  $\delta$  Sct звезды  $v$  UMa, обнаружение и идентификация короткопериодических изменений лучевых скоростей с периодом 0.063 суток.

3. Результаты спектрального исследования водородной линии  $H_{\alpha}$  у 23 UMa, обнаружение и идентификация высокообертоного спектра p-мод.

4. Результаты моделирования спектральных проявлений нерадиальных пульсаций у звезд с неоднородным поверхностным распределением химических элементов. Вывод о возможности увеличения чувствительности обнаружения у CP2-звезд нерадиальных мод промежуточных и высоких степеней  $l$ . Ме-

тодика постановки наблюдений, обнаружения и пространственной фильтрации нерадиальных пульсаций у CP2-звезд.

### Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. В диссертации содержится 147 страниц машинописного текста включая 16 таблиц и библиографию из 179 названий работ, и 59 рисунков. Общий объем диссертации составляет 206 страниц. По теме диссертации опубликовано 4 работы, их перечень приводится в заключении.

**Во введении** дается обоснование темы диссертации, определяется цель работы и изложена структура диссертации.

**В главе 1** дана общая характеристика пульсирующих  $\delta$  Sct и CP2 звезд нижней части полосы неустойчивости, отмечены теоретические и наблюдательные свидетельства актуальности исследований частотных спектров возбуждаемых у них пульсационных мод.

**В главе 2** дан обзор поиска переменности  $\tau$  Cyg, приведены результаты анализа литературных данных лучевых скоростей и фотометрических и спектральных исследований  $\tau$  Cyg в 1986 и 1989 гг.

**В главе 3** приведены результаты исследований быстрой спектральной переменности водородной линии  $H_{\alpha}$   $\delta$  Sct звезды  $v$  UMa и заподозренной в переменности звезды 23 UMa.

**В главе 4** дана общая характеристика наблюдательных проявлений нерадиальных пульсаций и методов их обнаружения в звездной сейсмологии. Поставлена задача обнаружения и идентификации мод промежуточных и высоких степеней  $l$  у CP2-звезд. Приведены результаты моделирования спектральных проявлений нерадиальных пульсаций для CP2-звезд. Предложена методика постановки наблюдений, обнаружения и идентификации нерадиальных пульсаций у CP2-звезд.

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

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Из анализа литературных данных лучевых скоростей  $\tau$  Cyg найдено, что имеют место кратковременные и орбитальные изменения лучевых скоростей  $\tau$  Cyg. Оценена амплитуда орбитальных изменений лучевых скоростей  $\tau$  Cyg главного компонента визуально-двойной системы ADS 14787, построена орбитальная кривая лучевых скоростей  $\tau$  Cyg и определена  $\gamma$ -скорость центра масс системы -22.8 км/с. Из анализа фотоэлектрических наблюдений  $\tau$  Cyg в 1986г., обнаружены короткопериодические изменения блеска звезды с частотами 6.3, 35.9 (36.1) и 32.4 циклов/сут. Частоты 35.9 (36.1) и 32.4 циклов/сут интерпретированы как принадлежащие модам низкой степени  $l < 3$ , 5 и 4 обертонов, соответственно. По фотоэлектрическим наблюдениям в 1989г. подтверждено существование короткопериодических изменений блеска с периодом около 40 минут (частота 36.4 циклов/сут). Подтверждена принадлежность  $\tau$  Cyg к звездам типа  $\delta$  Sct. По спектральным наблюдениям для даты HJD 2446677 обнаружены свидетельства переменности эквивалентных шириин линии K CaII.

2. Обнаружена короткопериодическая переменность лучевых скоростей водородной линии  $H_{\alpha}$  с периодом 0.063 суток у  $\delta$  Sct звезды  $v$  UMa. Подтверждена, по анализу независимых фотометрических данных других авторов, реальность существования найденной переменности. На основе сравнения вычисленных наблюдаемых и теоретических значений пульсационных констант, показано, что обнаруженный период с наибольшей вероятностью соответствует третьему радиальному обертому, возможно находящегося в резонансе с секториальными модами степени  $l=16$  и периодом 0.066 суток, обнаруженными позднее, из анализа профилей спектральных линий, другими авторами.

3. Обнаружена быстрая переменность лучевых скоростей водородной линии  $H_{\alpha}$  у заподозренной в переменности звезды 23 UMa. Подтверждена принадлежность 23 UMa к звездам типа  $\delta$  Sct. У 23 UMa, обнаружено существование возбужденных высокочастотных акустических мод с частотами 28.6, 39.6, 44.4, 59.5 и 68.3 циклов/сут, обнаружена эквидистантность структуры их частотного спектра. Наблюдаемая эквидистантность интерпретирована в рамках асимптотической теории Вандакурова-Тассуль, как вызванная возбуждением 6,8,9,12 и 14 обертонов степени  $l \leq 3$ . По наблюдаемому декременту разностей между частотами последовательных обертонов подтверждена звездная природа обнаруженного частотного спектра и достоверность идентификации. Построена эшелле-диаграмма частотного спектра 23 UMa, демонстрирующая разделение частотного спектра мод на моды четных и нечетных степеней  $l$ . Произведена идентификация обертонов  $n=6,12,14$  и  $n=8,9$  как принадлежащих, с наибольшей вероятностью, к степеням  $l=0$  и  $l=1$  соответственно. По значению "большого расщепления"  $\Delta\nu_0 = 51 \mu\text{Гц}$  установлено положение 23 UMa на диаграмме Герцшпрунга-Рессела, как звезды с массой 1.6-1.7  $M_{\odot}$  на стадии начала оболочечного горения водорода.

4. На модельных расчетах исследовано влияние поверхностных неоднородностей в распределении химических элементов на спектральные проявления нерадиальных пульсаций у CP2-звезд. Для набора акустических секториальных мод степени  $l=2,5$  и 9, выполнено моделирование пульсационных изменений профилей линий для модели звезды с пятном на поверхности. Показано несоответствие (снижение) истинных и наблюдаемых из интегральных профилей квантовых чисел  $l$  и  $m$ .

5. Обоснована возможность обнаружения у CP2-звезд нерадиальных мод промежуточных и высоких степеней  $l > 4$  и возможность существенного расширения спектра детектируемых нерадиальных мод вплоть до  $l=9$ , по измерениям доплеще-

ровских сдвигов центроидов спектральных линий неоднородно распределенных по поверхности химических элементов. Для секториальных и зональных мод и набора круговых пятен с избытком содержания хрома  $+1.88 \text{ dex}$  проведены численные модельные расчеты пульсационных лучевых скоростей, подтверждающие возможность увеличения чувствительности наблюдений до 2-3 порядков при использовании предлагаемой методики наблюдений.

6. Для CP2-звезд введено понятие "периодический пространственный фильтр" (ППФ). Для различных конфигураций поверхностных неоднородностей в распределении хрома (круговые пятна, кольцевые структуры с избытком Cr  $+1.88 \text{ dex}$ ), для секториальных и зональных мод и для модели "наклонного пульсатора" выполнены модельные расчеты ППФ, показана возможность сильной модуляции амплитуд лучевых скоростей пульсационных мод с вращением звезды. Показано, что в модели "наклонного пульсатора" модуляция связанная с поверхностными неоднородностями, накладывается на модуляцию, вызванную изменением, с вращением звезды, угла видимости пульсационного полюса и может сдвигать фазы экстремумов амплитуд пульсационных лучевых скоростей относительно фаз кроссовера и максимума магнитного поля.

7. Исследовано влияние поверхностных неоднородностей на амплитудно-фазовые проявления у пульсационных лучевых скоростей. Показано на модельных расчетах что для зональных мод, фазовые сдвиги, определенные по линиям различных химических элементов, близки к значениям 0 или 0.5 от периода пульсаций.

8. Предложена новая чувствительная спектральная методика постановки наблюдений, обнаружения и пространственной фильтрации нерадиальных осцилляций у CP2-звезд, эквивалентная наблюдениям "звезды как Солнца" включающая:

а) Предварительное картирование поверхности звезд для

наборов спектральных линий химических элементов имеющих различное неоднородное поверхностное распределение.

б) Численные модельные расчеты функций периодических пространственных фильтров для картированных конфигураций химических элементов, данного набора спектральных линий и искомым мод.

в) Получение наблюдательных спектральных данных и измерения лучевых скоростей для по центроидам данного набора спектральных линий различных химических элементов (соответствующим различным ППФ).

г) Анализ частотных спектров, амплитуд, фазовых сдвигов, средних значений лучевых скоростей для линий различных химических элементов. Сравнение с модельными значениями для рассчитанных ППФ, и идентификация мод по совпадению амплитудо-фазовых характеристик.

**Основное содержание диссертации изложено  
в следующих статьях**

1. Mkrtichian D.E. Detection of nonradial pulsations of stars with an inhomogeneous surface distribution of chemical elements. In: "Magnetic Stars", Leningrad, "Nauka", 1988, 195-196.

2. Мкртчян Д.Е. О применении периодических пространственных фильтров для обнаружения и фильтрации нерадиальных колебаний у Ар-звезд. Сб. "Проблемы Астрономии", ч.4, Деп. УКРНИИТИ, N.1432, Киев, 1990, 106-126.

3. Мкртчян Д.Е. Переменность линии  $H_{\alpha}$  в спектрах звезд нижней части полосы нестабильности. *v* UMa. Письма в Астрон. Ж., 1990, 16, 1107-1112.

4. Mkrtichian D.E. Model calculations of periodic spatial filters and line profile variations for pulsating CP2 stars. In: "Stellar Magnetism", Sankt-Petersburg, "Nauka", 1992, 260-263.

История развития культуры  
и искусства в советском обществе  
и их роль в формировании  
нового типа личности

Вопросы культуры и искусства  
в условиях строительства  
социализма

**Мкртичан Давид Егишевич**  
**Фотометрические и спектральные проявления**  
**пульсационной активности звезд нижней**  
**части полосы неустойчивости**

Подписано в печать 14.04.93.

Формат 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать роталитная.

Усл.печ.л. 0,74. Тираж 100 экз. Заказ 512. Бесплатно.

Гортипография, цех 3, г. Одесса, Ленина 49.

*Мкртичан*

11/15/19

11/15/19

AB 27.356

**AB 27.356**

Давид Египетский  
и географические предания  
восточных народов  
восточных народов

Давид Египетский

Давид Египетский  
и географические предания  
восточных народов