

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова

Государственный астрономический институт
имени П. К. Штернберга

На правах рукописи

Хруслов Антон Валентинович

**Открытие и исследование пульсирующих переменных звёзд
с множественной периодичностью**

Специальность 01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва - 2016

Работа выполнена в отделе нестационарных звезд и звёздной спектроскопии Института астрономии Российской академии наук

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор

Самусь
Николай Николаевич
(Институт астрономии РАН, Москва)

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

Байкова
Аниса Талгатовна
(Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург)

кандидат физико-математических наук

Шолухова
Ольга Николаевна
(Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз)

Ведущая организация:

Казанский (Приволжский) федеральный университет
(КФУ)

Защита диссертации состоится 13 октября 2016 года в 14:00 на заседании Диссертационного совета по астрономии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, шифр Д 501.001.86.

Адрес: 119992, Москва, Университетский проспект, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ (Москва, Университетский проспект, 13).

Автореферат разослан 30 июня 2016 года.

Ученый секретарь Диссертационного совета

доктор физико-математических наук

С.О. Алексеев

Общая характеристика работы

В работе представлены результаты исследований переменных звезд различных типов, прежде всего пульсирующих, с двойной и множественной периодичностью. У таких звезд могут быть одновременно возбуждены как две или более радиальных мод, так и несколько нерадиальных (в том числе одновременно с радиальными). Переменные с двойной и множественной периодичностью имеют сложные изменчивые кривые блеска, которые не повторяются точно от цикла к циклу и могут быть объяснены только наложением двух и более одновременно действующих колебаний. Для фазовых кривых блеска таких переменных звезд характерно значительное рассеяние точек, которое не может быть объяснено ошибками наблюдений. Главным образом по такому признаку и до сих пор выделяют звезды, которые можно заподозрить в принадлежности к этому типу. Амплитуды колебаний возбужденных мод могут как сильно отличаться, так и быть почти одинаковыми.

Первой звездой, у которой была обнаружена двойная периодичность, была AC And (Флоря 1937). Впоследствии, когда были открыты другие цефеиды с двойной периодичностью, оказалось, что все они имеют характерное отношение меньшего периода к большему, близкое к 0.70. Кроме того, были обнаружены и звезды типа RR Лиры с двойной периодичностью (главным образом в шаровых скоплениях), отношение периодов которых оказалось близко к 0.74, а отношение периодов переменных типа δ Щита высокой амплитуды (HADS, High-Amplitude Delta Scuti Star) с двойной периодичностью часто оказывалось в пределах 0.76 – 0.78.

Эти характерные значения отношения периодов были объяснены теорией звездных пульсаций как одновременно возбужденные колебания в основной моде и первом обертоне (для HADS-звезд см. Петерсен и Кристенсен-Дальсгор 1996). Петерсен (1973) впервые на основе линейной теории звездных пульсаций получил значения масс и радиусов цефеид с двойной периодичностью, используя только

значения периодов и их отношение. Отношение периодов позволяет определить пульсационную постоянную Q и, следовательно, плотность звезды. Применение линейной теории звездных пульсаций к таким переменным дает принципиальную возможность определения их масс на основе найденных для них отношений периодов. В настоящее время для более точного определения физических параметров цефеид используют нелинейную теорию звездных пульсаций (Смолец и Москалик 2010). Ранее была известна проблема расхождения масс, определенных с использованием теории пульсаций (“пульсационных масс”), с массами, полученными из сравнения наблюдательных данных с теоретическими расчетными эволюционными треками (“эволюционных масс”). Поначалу пульсационные массы цефеид, получаемые этим методом, были около 1.0 – 1.7 масс Солнца, что заметно меньше расчетных эволюционных (4 – 5 масс Солнца для звезд сходных периодов). На сегодняшний день проблема снята уточнением звездных непрозрачностей.

Для звезды с двойной периодичностью отношение периодов пульсаций оказалось важной характеристикой, позволяющей отождествлять пульсационные моды звезды. Если для пульсаций в основной моде и первом обертоне наблюдаемые отношения периодов находятся в интервале 0.70 – 0.76, то для пульсаций в первом и втором обертонах отношения периодов близко к 0.80. Для предполагаемых пульсаций во втором и третьем обертонах значения находятся в интервале 0.83 – 0.84. Отношение периодов от 0.85 до 0.99 обычно свидетельствует о возбуждении нерадиальных пульсаций. Для графического представления переменных с двойной периодичностью используют диаграмму Петерсена (зависимость отношения двух периодов от величины одного из них – например, P_1/P_0 от P_0 или $\lg P_0$). Положение переменной на ней определяется как массой звезды, так и содержанием тяжелых элементов (металличностью). Группы звезд с двойной периодичностью разных типов и разных мод колебаний образуют на ней определенные последовательности.

В диссертации представлены результаты систематического поиска переменных звезд различных типов с двойной и множественной периодичностью, проводившегося нами с 2007 г. по электронным фотометрическим архивам, находящимся в свободном доступе в сети Интернет, а также результаты наших фотометрических наблюдений отдельных переменных звезд с двойной и множественной периодичностью, выполненных в период с 2012 по 2015 гг.

Актуальность проблемы

Актуальность всестороннего изучения звезд с двойной и множественной периодичностью связана с тем, что их изучение предоставляет принципиальную возможность непосредственного определения их масс только на основе найденных для них двух временных интервалов (периодов радиальных пульсаций). Кроме того, этот класс переменных недостаточно изучен, для некоторых типов звезд с двойной и множественной периодичностью пока известно всего лишь несколько относимых к ним звезд. Выявление новых переменных этих типов создаёт не существовавшую ранее статистику, и ряд переменных перестают рассматриваться как уникальные.

Актуальность фотометрического исследования состоит в том, что для многих типов переменных с двойной и множественной периодичностью пока ещё в достаточной мере не выполнена многоцветная фотометрия, либо нет фотометрии достаточно высокой точности. В ряде случаев, когда амплитуда вторичного колебания мала, только высокоточная фотометрия позволяет его обнаружить. Кроме того, длительное наблюдение переменных с двойной периодичностью позволяет обнаружить различные проявления эволюции этих звезд: от систематического (векового) изменения периодов у цефеид до изменения моды пульсаций (что уже отмечено у нескольких RR(B)-звезд).

Цели и задачи исследования

Целью диссертационной работы является обнаружение и всестороннее исследование переменных с двойной и множественной периодичностью, исследование отдельных классов радиально пульсирующих звезд, выявление их особенностей и отличий от переменных тех же типов в галактиках Магеллановых Облаков и, возможно, в других галактиках. Для достижения цели диссертационной работы решаются следующие задачи:

1. Систематический поиск и выявление недостаточно изученных переменных звезд в базе данных переменных звезд AAVSO VSX, а также работа со списками и каталогами новых переменных звезд, открытых в ходе осуществления различных фотометрических обзоров;
2. Анализ фотометрических данных электронных архивов;
3. Получение продолжительных рядов фотометрических наблюдений в полосах *B*, *V* и *R* фотометрической системы Джонсона.

Научная новизна

В ходе выполнения работы получен ряд новых результатов.

1. Обнаружена двойная и множественная периодичности 316 переменных.
2. Открыта переменность блеска 8 переменных звезд, показывающих явление двойной и множественной периодичности: QX Cam, QS Dra, V1285 Her, V542 Cam, USNO-B1.0 1329-0132547, V1277 Cas, USNO-B1.0 1465-0053628, GSC 4560-02157.
3. Обнаружен редкий случай изменения моды пульсаций переменной типа RR Лиры USNO-B1.0 1171-0309158, RR(B) → RRAB.

4. Впервые сделан вывод о бимодальном характере распределения по периодам звезд типа RR(B) F/1O Галактики и о возможной его связи с классами Оостерхофа шаровых скоплений.

5. Впервые построена диаграмма Петерсена для цефеид первого и второго обертонов Галактики, выявлено заметное отличие ее от диаграммы Петерсена для цефеид Магеллановых облаков.

Научная и практическая значимость работы

Обнаружение значительного числа новых переменных с множественной периодичностью позволит в будущем рассматривать эти переменные со статистической точки зрения, а также выводит ряд звезд из категории уникальных переменных объектов.

Полученные фотометрические наблюдения представляют собой ценный материал, который содержит большой объём информации по звездам с двойной и множественной периодичностью разных типов.

Результаты работы могут быть использованы для уточнения теории пульсирующих переменных звезд.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Обнаружение двойной периодичности 255 переменных, пульсирующих радиально в основной моде и первом обертоне (из которых 17 HADS(B), 235 RR(B) и 3 цефеиды), 19 переменных, пульсирующих в первом и втором обертонах (из которых 3 HADS(B), 16 цефеид), двух переменных типа δ Щита, пульсирующих в трёх модах (F/1O/2O), двух звезд типа δ Щита предположительно второго и третьего обертонов (2O/3O), 13 малоамплитудных мультипериодических переменных типа δ Щита с нерадиальными пульсациями, двух HADS звезд и 17 RRC звезд с одной дополнительной нерадиальной модой, шести RRC звезд с двумя нерадиальными пульсациями (эквидистантных триплетов).

2. Открытие переменности блеска 8 переменных звезд, показывающих явление двойной и множественной периодичности: QX Cam, QS Dra, V1285 Her, V542 Cam, USNO-B1.0 1329-0132547, V1277 Cas, USNO-B1.0 1465-0053628, GSC 4560–02157.
3. Обнаружение переменной типа RR Лиры, изменившей моду пульсаций, USNO-B1.0 1171-0309158, пульсировавшей ранее в основной моде и первом обертоне и в самое последнее время прекратившей пульсации в первом обертоне и значительно увеличившей амплитуду основной моды, в результате чего изменился тип переменной с RR(B) на RRAB.
4. Вывод о бимодальном характере распределения по периодам RR(B)-звезд F/10 и о возможной его связи с классами Оостерхофа шаровых скоплений.
5. Построение диаграммы Петерсена для цефеид первого и второго обертонов Галактики, выявление заметного ее отличия от диаграммы Петерсена для 10/20 цефеид Магеллановых облаков, вызванного, вероятно, различием металличности цефеид двух галактик.
6. Открытие переменности GSC 4560–02157, затменной катаклизмической переменной, у которой обнаружены накладывающиеся на изменчивую затменную кривую блеска мультипериодические (или квазипериодические) колебания с коротким периодом (менее часа).

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Khruslov A.V. GSC 4064-00179, a New 1.1-day Cepheid in Camelopardalis, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 5, N 3 (2005)
2. Khruslov A.V. GSC 3514-00405, a New Double-Mode RR Lyrae Variable Star, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 7, N 7 (2007)
3. Khruslov A.V. 6 New Short-Period Pulsating Variables, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 7, N 25 (2007)
4. Khruslov A.V. Pulsations in the Eclipsing Binary NSV 10993, *Perem. Zvezdy* 28, No. 4 (2008)

5. Khruslov A.V. TYC 6849 00019 1, a New Double-Mode Cepheid Perem. *Zvezdy Prilozh.* 9, N 14 (2009)
6. Khruslov A.V. Four New Double-Mode Cepheids, Pulsating in First and Second Overtone Modes, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 9, N 17 (2009)
7. Khruslov A.V. Four High-Amplitude Double-Mode Delta Scuti Variables, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 9, N 26 (2009)
8. Khruslov A.V. Three New Double-Mode Variables, Pulsating in First and Second Overtone Modes, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 9, N 31 (2009)
9. Khruslov A.V. GSC 6957-00065, a New Double-Mode RR Lyrae Variable Star, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 10, N 11 (2010)
10. Khruslov A.V. Multiperiodic Delta Scuti Variables with Nonradial Pulsations, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 10, N 15 (2010)
11. Khruslov A.V. Three New Double-Mode Cepheids, Pulsating in the First and Second Overtone Modes, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 10, N 16 (2010)
12. Khruslov A.V. TYC 717 1091 1, a New Double-Mode RR Lyrae Variable Star, Pulsating in the First and Second Overtone Modes, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 10, N 28 (2010)
13. Khruslov A.V. TYC 3877 02198 1, a New Multiperiodic RR Lyrae Variable Star with First-Overtone and Non-Radial Pulsations, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 10, N 32 (2010)
14. Khruslov A.V. Unusual Variability of TYC 5978 00472 1, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 11, N 17 (2011)
15. Khruslov A.V. V337 Ori, a High-Amplitude Delta Scuti Variable Star with Radial and Nonradial Pulsation, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 11, N 24 (2011)
16. Khruslov A.V. V2198 Sgr, a New Double-Mode RR Lyrae Variable Star, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 11, N 25 (2011)
17. Khruslov A.V. Six High-Amplitude Double-Mode Delta Scuti Variables, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 11, N 30 (2011)
18. Khruslov A.V. 43 New Variable Stars, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 12, N 6 (2012)
19. Khruslov A.V. GSC 6558-01290, a New Double-Mode RR Lyrae Variable Star, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 12, N 7 (2012)
20. Khruslov A.V. New Elements of Known Variables, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 12, N 8 (2012)
21. Khruslov A.V. Eight Double-Mode RR Lyrae Variables, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 12, N 9 (2012)
22. Khruslov A.V. Three RRC Variable Stars with Multiple Frequencies, Perem. *Zvezdy Prilozh.* 12, N 18 (2012)

23. Khruslov A.V. Seven Double-Mode RR Lyrae Variables, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 12, N 25 (2012)
24. Khruslov A.V. GSC 1374-01131, a High-Amplitude Delta Scuti Star with an Eclipsing Component, *Perem. Zvezdy* 33, No. 1 (2013)
25. Khruslov A.V. A search for double-mode pulsating variables, *Astron. Nachr.* 334, No.8, 866 (2013)
26. Khruslov A.V., Huemmerich S., Bernhard K. Four Double-Mode Variables, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 13, N 11 (2013)
27. Khruslov A.V., Kusakin A.V. A Photometric Study of the Pulsating Variable Star TYC 0075 01143 1, *Perem. Zvezdy* 33, No. 6 (2013)
28. Antipin S.V., Khruslov A.V. New Data for Known Variables in Hercules, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 13, N 15 (2013)
29. Kozyreva V.S., Khruslov A.V., Kusakin A.V. V Photometry for Four Variables, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 13, N 17 (2013)
30. Khruslov A.V. New Elements for Double- and Multimode High-Amplitude Delta Scuti Variables, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 14, N 1 (2014)
31. Huemmerich S., Khruslov A.V. Seven Double-Mode RR Lyrae Variables, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 14, N 2 (2014)
32. Khruslov A.V., Kusakin A.V. USNO-B1.0 1329-0132547, a New Double-Mode High-Amplitude δ Scuti Variable, *Perem. Zvezdy* 34, No. 1 (2014)
33. Khruslov A.V. New Double-Mode RR Lyrae Variables, *Perem. Zvezdy* 34, No. 3 (2014)
34. Khruslov A.V. New Double-Mode RR Lyrae Variables II, *Perem. Zvezdy* 35, No. 1 (2015)
35. Khruslov A.V., Kusakin A.V., Barsukova E.A., Goranskij V.P., Valeev A.F., Samus N.N., GSC 4560-02157: a new long-period eclipsing cataclysmic variable star, *Research in Astron. and Astrophys.* 15, 1005 (2015), arXiv:1411.3847v1
36. Khruslov A.V., Kusakin A.V. A Photometric Study of the Double-Mode High-Amplitude δ Scuti Variable Star QS Draconis, *Perem. Zvezdy* 35, No. 2 (2015)
37. Khruslov A.V. New Double-Mode RR Lyrae Variables III, *Perem. Zvezdy* 35, No. 4 (2015)
38. Khruslov A.V. New RRC variables with an additional non-radial pulsation, *Perem. Zvezdy* 35, No. 5 (2015)
39. Khruslov A.V. Six Double-Mode Variables, *Perem. Zvezdy Prilozh.* 15, N 9 (2015)
40. Khruslov A.V. A study of double- and multi-mode RR Lyrae variables, *Baltic Astron.* 24, 379 (2015), arXiv: 1602.06168v1
41. Khruslov A.V., Kusakin A.V. V470 Cas and GSC 2901-00089, Two New Double-mode Cepheids (2016), arXiv: 1605.01313v1
42. Khruslov A.V., Kusakin A.V., Reva I. V., USNO-B1.0 1171-0309158: An RR Lyrae Star that Switched from a Double- to Single-mode Pulsation (2016), arXiv: 1605.01577v1

Апробация результатов

Результаты диссертации представлены

на семинарах:

- ИНАСАН (13 ноября 2014 г.);
- по звёздной астрономии ГАИШ МГУ (3 декабря 2014 г.).

на конференции молодых ученых ИНАСАН (ноябрь 2012 года)

на всероссийских и международных конференциях:

- «Астрономия в эпоху информационного взрыва: результаты и проблемы» (XI съезд АО), Москва, 28 мая – 2 июня 2012 г.
- «Многоликая Вселенная» (ВАК-2013), Санкт-Петербург, 23 – 27 сентября 2013 г.
- «Астрономия от ближнего космоса до космологических далей» (XII съезд АО), Москва, 25 – 30 мая 2015 г.
- «Современная звёздная астрономия-2016», Кавказская Горная обсерватория ГАИШ МГУ, 8 – 10 июня 2016 г.

Личный вклад автора.

Практически вся работа по поиску двойной периодичности по электронным архивам и интерпретации результатов этого поиска выполнена автором (за исключением 15 звезд в 5 совместных публикациях). Вся работа по анализу данных электронных архивов и ПЗС-наблюдений выполнена автором.

Все наблюдательные задачи были поставлены автором. Автором работы выполнена также значительная часть фотометрических ПЗС-наблюдений (все наблюдения GSC 2901-00089 и USNO-B1.0 1329-0132547, около 70% наблюдений V470 Cas, половина наблюдений USNO-B1.0 1465-0053628 и QS Dra, около 40% наблюдений GSC 4560-02157 и V1392 Tau, 25% наблюдений V1277 Cas и V1280 Cas). Наблюдения USNO-B1.0 1171-0309158 (звезды RR(B) → RRAB) полностью выполнены А.В. Кусакиным и И.В. Рева. Основная часть обработки fits-файлов и

вся последующая фотометрия переменных звезд выполнена автором. За исключением GSC 4560-02157, во всех остальных случаях интерпретация результатов выполнена автором.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 126 страниц, диссертация содержит 49 рисунков, 29 таблиц, список цитируемой литературы включает в себя 105 ссылок.

Содержание работы

Во *введении* дана общая характеристика работы, показана актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи исследования. Представлены основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту. Показана их научная новизна и практическая значимость.

В *первой главе* рассматриваются работа с электронными архивами фотометрических данных (NSVS, ASAS, SWASP, LINEAR, CRTS), методы поиска переменности и множественной периодичности, а также полученный массив ПЗС-наблюдений. В *разделе 1.1* рассматривается поиск двойной и множественной периодичности по электронным архивам с использованием программы WINEFK В.П. Горанского, дается обзор доступных архивов и особенностей работы с фотометрическими данными. *Раздел 1.2* посвящен методике поиска новых переменных звезд в базе данных электронного обзора NSVS, так как переменность 5 звезд с двойной периодичностью была найдена нами при работе с данными этого архива. В *разделе 1.3* дается краткая характеристика выполненных нами ПЗС-наблюдений, рассматриваются параметры инструментов Тянь-Шаньской астрономической обсерватории Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова (Алматы, Казахстан), на которых были выполнены наблюдения.

Вторая глава посвящена звездам типа δ Щита с двойной и множественной периодичностью. В **разделе 2.1** рассматриваются свойства 17 найденных нами звезд типа δ Щита с большой амплитудой (HADS), показывающих явление двойной периодичности и пульсирующих в основной моде и первом обертоне (HADS(B) F/1O). **Раздел 2.2** включает в себя описание наших ПЗС-наблюдений трёх HADS(B) звезд F/1O: V1392 Tau, QS Dra и USNO-B1.0 1329-0132547 (переменность двух последних открыта нами). **Раздел 2.3** посвящен HADS-звездам, пульсирующим в первом и втором обертонах (1O/2O). Нами найдены 3 такие переменные. В **разделе 2.4** рассматриваются HADS-звезды, пульсирующие сразу в трёх модах (F/1O/2O). Из девяти известных в Галактике на сегодняшний день звезд этого типа две найдены нами. **Раздел 2.5** посвящен пока еще не до конца подтвержденному классу HADS-звезд с двойной периодичностью, пульсирующих во втором и третьем обертонах (2O/3O). Несколько таких переменных обнаружено в ходе проекта OGLE в Большом Магеллановом Облаке (Полески и др. 2010) и в центральных областях Галактики (Пьетрукович и др. 2013). Найденные нами два кандидата в эту группу представляют значительный интерес. **Раздел 2.6** посвящён диаграмме Петерсена для всех известных пульсирующих радиально звезд типа HADS(B) Галактики.

Также нами рассматриваются звезды типа δ Щита с нерадиальными пульсациями. **Раздел 2.7** посвящен HADS-звездам, у которых наряду с основным колебанием возбуждена одна дополнительная, предположительно нерадиальная мода. Таких переменных нами найдено две. В **разделе 2.8** нами рассматриваются малоамплитудные мультипериодические переменные типа δ Щита (тип DSCTC). По данным обзора ASAS-3 нами найдено 10 таких переменных; еще три звезды типа DSCTC (V1277 Cas, V1280 Cas и USNO-B1.0 1465-0053628) найдены по нашим ПЗС-наблюдениям.

В **третьей главе** описываются полученные результаты поиска звезд типа RR Лиры с двойной и множественной периодичностью. В **разделе 3.1** описываются результаты поиска двойной периодичности звезд типа RR Лиры. Найдено 235 звезд

типа RR Лиры, пульсирующих в основной моде и первом оберitone (F/1O). Рассматривается диаграмма Петерсена звезд этого типа. По нашим данным изучено распределение по периодам звезд типа RR Лиры Галактики с двойной периодичностью, которое оказалось бимодальным, имеющим основной пик на значениях периода $P = 0.48$ сут. и вторичный пик на $P = 0.54$ сут. Ранее из-за недостатка статистического материала характер распределения не был очевиден. Указывается на вероятную связь такого распределения с классами I и II Оостерхофа для шаровых скоплений Галактики. **Раздел 3.2** посвящен обнаруженному нами редкому случаю переменной типа RR(B), поменявшей моду пульсации. Двойная периодичность USNO-B1.0 1171-0309158 была нами обнаружена по данным автоматического обзора The Catalina Surveys (CSS, Дрейк и др. 2009). По этим же данным мы заподозрили резкое увеличение амплитуды колебания основной моды и уменьшение амплитуды первого обертона. Выполненные нами в 2015 г. ПЗС-наблюдения показали, что колебания в первом оберitone не обнаруживаются и что звезду теперь следует классифицировать как переменную типа RRAB. При этом заметно увеличился период колебаний в основной моде (на 47 сек.). USNO-B1.0 1171-0309158 является пятым подобным случаем среди звезд типа RR Лиры Галактики (Калюжный и др. 1998, Сошински и др. 2014ab), ещё одна переменная известна в Большом Магеллановом Облаке (Полески 2014). В **разделе 3.3** рассматриваются переменные типа RRC (звезды типа RR Лиры первого обертона), у которых возбуждена одна дополнительная нерадиальная пульсация. У таких переменных частоты вторичных колебаний близки к основной частоте (первый обертон, 1O). Нами найдено 17 переменных этого типа. В **разделе 3.4** рассматриваются переменные типа RRC, у которых наряду с основным колебанием в первом оберitone одновременно возбуждены ещё две нерадиальные пульсации. Такие переменные также называют эквидистантными триплетами, так как у них модули разностей частот первой и второй нерадиальных мод и основного колебания равны. Шесть найденных нами случаев позволяют сделать вывод о морфологическом сходстве фазовых кривых блеска звезд данного типа.

В *четвёртой главе* приводятся результаты поиска и наблюдений цефеид с двойной периодичностью. *Раздел 4.1* посвящен цефеидам основной моды и первого обертона (F/1O), приводится список всех известных на сегодняшний день переменных этого типа в Галактике, подробно рассматриваются три найденных нами случая. В *разделе 4.2* рассматриваются цефеиды первого и второго обертонов. Всего в Галактике на сегодняшний день известно 27 цефеид 1O/2O, 16 из которых найдены нами. Цефеиды 1O/2O имеют довольно короткие периоды, часто находящиеся в интервале характерных периодов звезд типа RR Лиры. Все найденные звезды этого типа находятся на малых расстояниях от плоскости Галактики, что является дополнительным аргументом для отнесения их к цефеидам. В *разделе 4.3* приводятся результаты наших ПЗС-наблюдений двух цефеид 1O/2O: GSC 2901-00089 и V470 Cas. Двойная периодичность была заподозрена по данным автоматических обзоров NSVS (Вожняк и др. 2004) и SuperWASP (Баттерс и др. 2010), но окончательно подтверждена только при анализе полученных ПЗС-наблюдений. У обеих звезд обнаружено систематическое изменение периода, в случае V470 Cas, вероятно, вековое. В *разделе 4.4* рассматривается диаграмма Петерсена для цефеид с двойной и множественной периодичностью Галактики. Сравняется диаграмма Петерсена для цефеид 1O/2O Галактики и Большого Магелланова Облака, выявляется заметное их отличие.

В *главе 5* рассматриваются другие типы обнаруженной нами двойной периодичности. *Раздел 5.1* посвящен найденным нами двум случаям пульсирующих переменных в затменных системах. У переменной GSC 1374-1131 на затменную кривую типа Алголя с периодом около 6 сут. накладываются колебания с периодом 0.08 сут., характерные для HADS-звезд. Большинство известных звезд типа δ Щита в затменных системах – это малоамплитудные звезды подтипа DSCTC; HADS-звезд в затменных системах, кроме GSC 1374-1131, известно пока только две. V1135 Her показывает наложение на затменную кривую типа β Лиры с периодом 40 сут. квазисинусоидальных колебаний с периодом 4.2 сут., вероятно, вызванных пульсациями цефеиды типа W Vir. Кроме V1135 Her, в

Галактике пока известна лишь одна подобная система (Антипин и др. 2007). В *разделе 5.2* описывается найденная нами затменная катаклизмическая система GSC 4560-02157, переменность которой была нами найдена по данным обзора NSVS. У этой переменной вне главного затмения наблюдаются значительные колебания уровня блеска с накладывающимися на них малоамплитудными мультипериодическими (или квазипериодическими) колебаниями. При этом в главном минимуме блеск переменной остаётся постоянным. Несмотря на то, что вспышек, характерных для карликовых новых, у звезды пока не обнаружено, она уверенно может быть отнесена к катаклизмическим переменным на основании полученного на 6-м телескопе БТА САО РАН спектра, в котором наблюдаются сильные эмиссионные линии бальмеровской серии водорода, а также эмиссии HeI и HeII. В *разделе 5.3* рассматривается переменная V592 Cen, известная ранее как полуправильная переменная с периодом 40 сут., у которой по данным ASAS-3 нами были обнаружены медленные изменения среднего блеска с периодом 1000 сут., накладывающиеся на полуправильные колебания блеска с известным периодом, а также характерное различие четных и нечетных минимумов в фазе максимума долгопериодического изменения блеска, что дало возможность классифицировать переменную как звезду типа RV Тельца подтипа RVB.

В *заключении* приводятся результаты, выносимые на защиту и основные выводы.

Список литературы

- Антипин и др.** (S.V. Antipin, K.V. Sokolovsky, T.I. Ignatieva), MNRAS **379**, 60 (2007)
- Баттерс и др.** (O.W. Butters, R.G. West, D.R. Anderson et al.), Astron. Astrophys. **520**, L10 (2010)
- Вожняк и др.** (P.R. Wozniak, W.T. Vestrand, C.W. Akerlof et al.), Astron. J. **127**, 2436 (2004)
- Дрейк и др.** (A.J. Drake, S.G. Djorgovski, A. Mahabal et al.), Astrophys. J. **696**, 870 (2009)
- Калюжный и др.** (J. Kaluzny, R.W. Hilditch, C. Clement, S.M. Rucinski), MNRAS **296**, 347 (1998)
- Петерсен** (J.O. Petersen), Astron. Astrophys. **27**, 89 (1973)
- Петерсен и Кристенсен-Дальсгор** (J.O. Petersen, J. Christensen-Dalsgaard), Astron. Astrophys. **312**, 463 (1996)
- Полески и др.** (R. Poleski, I. Soszynski, A. Udalski et al.), Acta Astron. **60**, 1 (2010)
- Полески** (R. Poleski), PASP **126**, 509 (2014)
- Пьетрукович и др.** (P. Pietrukowicz, W.A. Dziembowski, P. Mróz et al.), Acta Astron. **63**, 379 (2013)
- Смолец** (R. Smolec, P. Moskalik), Astron. Astrophys. **524**, A40, 12 (2010)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, W.A. Dziembowski, A. Udalski et al.), Acta Astron. **64**, 1 (2014a)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, A. Udalski, M.K. Szymanski et al.), Acta Astron. **64**, 177 (2014b)
- Флоря** (Флоря Н. Ф.), Астрон. Журн. **14**, № 1 (1937)