

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ АСТРОНОМИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

Хруслов Антон Валентинович

ОТКРЫТИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ПЕРЕМЕННЫХ  
ЗВЁЗД С МНОЖЕСТВЕННОЙ ПЕРИОДИЧНОСТЬЮ

Специальность 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель –  
доктор физико-математических наук, профессор  
Н. Н. Самусь

МОСКВА, 2016

## Содержание

Введение	4
Глава 1. Наблюдения и методы исследования	19
1.1 Электронные архивы фотометрических данных	19
1.2 Поиск переменных звезд по данным NSVS	21
1.3 ПЗС-фотометрия	23
Глава 2. Звезды типа $\delta$ Щита с двойной и множественной периодичностью	24
2.1 Звезды HADS(B) F/1O	25
2.2 ПЗС-наблюдения звезд HADS(B) F/1O	28
2.3 Звезды HADS(B) 1O/2O	34
2.4 Звезды HADS(B) пульсирующие в трёх модах, F/1O/2O	36
2.5 Звезды типа $\delta$ Щита 2O/3O	39
2.6 Диаграмма Петерсена для HADS(B) звезд	42
2.7 Нерадиальные пульсации у HADS-звезд	43
2.8 Мультипериодические звезды типа $\delta$ Щита, DSCTC	47
Глава 3. Звезды типа RR Лиры с двойной и множественной периодичностью	54
3.1 Звезды типа RR Лиры основной моды и первого обертона, F/1O	55
3.2 USNO-B1.0 1171-0309158, изменение моды RR(B) $\rightarrow$ RRAB	68
3.3 RRC звезды с одной дополнительной нерадиальной модой	73
3.4 RRC звезды с двумя нерадиальными модами: эквидистантные триплеты	77
Глава 4. Цефеиды с двойной периодичностью	80
4.1 Цефеиды основной моды и первого обертона, F/1O	81
4.2 Цефеиды первого и второго обертонов, 1O/2O	88

4.3	ПЗС-наблюдения двух цефеид 1О/2О	90
4.4	Диаграмма Петерсена для цефеид Галактики	102
Глава 5.	Другие типы двойной и множественной периодичности	104
5.1	Пульсирующие звезды в затменных системах	104
5.2	GSC 4560-02157, затменная катаклизмическая система	112
5.3	V592 Cen	116
	Заключение	118
	Список литературы	121

## Введение

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). С 2007 г. нами проводится систематический поиск переменных звезд с двойной и множественной периодичностью по электронным фотометрическим архивам, находящимся в свободном доступе в сети Интернет. Кроме того, с 2012 г. мы проводим регулярные ПЗС-наблюдения отдельных переменных с двойной и множественной периодичностью.

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. Легче обнаружить двойную периодичность, когда амплитуда вторичного колебания сравнима с амплитудой основного.

Первой звездой, у которой была обнаружена двойная периодичность, была AC And (Флоря 1937). Кукаркин и Паренаго (1937, с. 29) характеризуют эту переменную как вероятную двойную систему, оба компонента которой являются звездами типа RR Лиры с примерно равными амплитудами, и отмечают, что “AC Andromedae представляет пока уникам”. И в настоящее время AC And остаётся уникальной переменной: у нее выявлена еще одна

пульсационная мода, и она вместе с V823 Cas относится к классу редких переменных – цефеид, пульсирующих сразу в трёх радиальных модах.

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  $\delta$  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 с уточнением звездных непрозрачностей.

Для звезды с двойной периодичностью отношение периодов пульсаций оказалось важной характеристикой, позволяющей отождествлять пульсационные моды звезды. Если для пульсаций основной моды и первого обертона отношение периодов близко к 0.70 – 0.75, то для пульсаций в первом и втором обертонах оно близко к 0.80. Для предполагаемых пульсаций во втором и третьем обертонах возможно отношение периодов в интервале 0.83 – 0.84. Отношение периодов от 0.85 до 0.99 обычно свидетельствует о возбуждении нерадиальных пульсаций. Наблюдаемые отношения периодов звезд с двойной периодичностью Галактики для разных типов переменных звезд следующие (цефеиды, звезды типа RR Лиры и звезды типа  $\delta$  Щита большой амплитуды с двойной периодичностью обозначены как DCEP(B), RR(B) и HADS(B) соответственно):

Основная мода и первый обертон (отношение  $P_1/P_0$ ):

DCEP(B) 0.696 – 0.740

RR(B) 0.726 – 0.750

HADS(B) 0.756 – 0.787

Первый и второй обертоны (отношение  $P_2/P_1$ ):

DCEP(B) 0.793 – 0.806

RR(B) \* / – /

HADS(B) 0.794 – 0.807

Второй и третий обертоны (отношение  $P_3/P_2$ ):

HADS(B) 0.828 – 0.841

Для графического представления переменных с двойной периодичностью строят диаграмму Петерсена (зависимость отношения двух периодов от величины одного из них – например,  $P_1/P_0$  от  $P_0$ ). 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.

---

\* - см. раздел 3.1.

## **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/10 Галактики и о возможной его связи с классами Оостерхофа шаровых скоплений.
5. Впервые построена диаграмма Петерсена для цефеид первого и второго оборотов Галактики, выявлено заметное отличие ее от диаграммы Петерсена для цефеид Магеллановых облаков.



## Апробация результатов

Результаты диссертации представлены

на семинарах:

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

на конференции молодых учёных 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.

## Структура диссертации

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

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, 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* даётся 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  $\delta$  Щита с двойной и множественной периодичностью. В *разделе 2.1* рассматриваются свойства 17 найденных нами звезд типа  $\delta$  Щита с большой амплитудой (HADS), показывающих явление двойной периодичности и пульсирующих в основной моде и первом оберitone (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). 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  $\delta$  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  $\delta$  Щита (тип DSCTC). По данным обзора ASAS-3 нами найдено 10 таких переменных; еще три DSCTC-звезды (V1277 Cas, V1280 Cas и USNO-B1.0 1465-0053628) найдены по ПЗС-наблюдениям, которые описываются во второй половине раздела.

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), изменившей моду пульсации. Двойная периодичность USNO-B1.0 1171-0309158 была нами обнаружена по данным автоматического обзора The Catalina Surveys (CSS). 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.). 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 обертоне 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 и SuperWASP, но окончательно подтверждена только при анализе полученных ПЗС-наблюдений. У обеих звезд обнаружено систематическое изменение периода первого обертона, в случае V470 Cas, вероятно, вековое. В *разделе 4.4* рассматривается диаграмма Петерсена для цефеид с двойной и множественной периодичностью Галактики. Сравнивается 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  $\delta$  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  $\beta$  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). В *разделе 5.2* описывается найденная нами затменная катаклизмическая система GSC 4560-02157, у которой вне главного затмения наблюдаются значительные колебания уровня блеска с накладываются 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 этой 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., накладываются на полуправильные 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.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих 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  $\delta$  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  $\delta$  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, arXiv: 1605.01313v1 (2016)
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, arXiv: 1605.01577v1 (2016)

### **Основные результаты, выносимые на защиту:**

1. Обнаружение двойной периодичности 255 переменных, пульсирующих радиально в основной моде и первом оберitone (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  $\delta$  Щита, пульсирующих в трёх модах (F/1O/2O), двух звезд типа  $\delta$  Щита предположительно второго и третьего обертонов (2O/3O), 13 малоамплитудных мультипериодических переменных типа  $\delta$  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, V0542 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 оберitone и в самое последнее время прекратившей 1O пульсации и

значительно увеличившей амплитуду основной моды, в результате чего изменился тип переменной RR(B)  $\rightarrow$  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 оборотов Галактики, выявление заметного ее отличия от диаграммы Петерсена для 10/20 цефеид Магеллановых облаков, вызванное, 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).

#### **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)  $\rightarrow$  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.

## Глава 1. Наблюдения и методы исследования

### 1.1 Электронные архивы фотометрических данных

Поиск двойной и множественной периодичности проводился нами в данных нескольких автоматизированных электронных обзоров: NSVS, ASAS, SuperWASP, LINEAR и CRTS (Catalina Surveys). Данные находятся в свободном доступе в сети Интернет. После небольшой обработки (или без нее) проводился их анализ при помощи используемого нами программного обеспечения. Только один из этих обзоров, ASAS-3 (The All Sky Automated Survey; Поймански 2002), имел своей основной целью поиск и исследование переменных звезд. Для других обзоров это был побочный результат исследований. Для NSVS (Northern Sky Variability Survey; Вожняк и др. 2004), являющегося частью проекта ROTSE-I (Robotic Optical Transient Search Experiment), главной целью было построение в оптическом диапазоне ранних кривых блеска гамма-всплесков. SuperWASP (Wide Angle Search for Planets; Баттерс и др. 2010) был разработан для поиска экзопланет фотометрическим способом. Обзор LINEAR (Lincoln Near-Earth Asteroid Research; Сезар и др. 2011) имел своей основной целью поиск астероидов. CRTS (Catalina Real-Time Transient Survey; Дрейк и др. 2009) был создан для поиска оптических транзиентов.

Фотометрические данные этих обзоров доступны по следующим ссылкам:

NSVS: <http://skydot.lanl.gov/nsvs/nsvs.php>  
ASAS: <http://www.astrouw.edu.pl/asas/?page=aasc>  
SWASP: <http://wasp.cerit-sc.cz/form>  
LINEAR: [https://astroweb.lanl.gov/lineardb/light\\_curves](https://astroweb.lanl.gov/lineardb/light_curves)  
CRTS: [http://nunuku.caltech.edu/cgi-bin/getcssconedb\\_release\\_img.cgi](http://nunuku.caltech.edu/cgi-bin/getcssconedb_release_img.cgi)

Характеристики всех указанных выше обзоров приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Электронные фотометрические обзоры.

Фотометрический обзор	NSVS	ASAS-3	SWASP	LINEAR	CSS	SSS	MLS	OGLE-III
Страна	США	Чили, Польша	Великобритания, ЮАР	США	США	Австралия	США	Чили, Польша
Координаты	35 <sup>o</sup> .8692 N, 106 <sup>o</sup> .2536 W	29 <sup>o</sup> .0103 S, 70 <sup>o</sup> .7014 W	South: 32 <sup>o</sup> .3872 S, 20 <sup>o</sup> .8117 E; North: 28 <sup>o</sup> .7636 N, 17 <sup>o</sup> .8947 W	33 <sup>o</sup> .8 N, 106 <sup>o</sup> W	32 <sup>o</sup> .417 N, 110 <sup>o</sup> .7317 W	31 <sup>o</sup> .3 S, 149 <sup>o</sup> .1 E	32 <sup>o</sup> .4433 N, 110 <sup>o</sup> .7889 W	29 <sup>o</sup> .0099 S, 70 <sup>o</sup> .7016 W
Высота над уровнем моря (Altitude), м	2300	2215	South: 2396, North: 1798	1506	2510	1150	2790	2275
Время наблюдений	1999.04 – 2000.03	2001 – 2010	2004.04 – 2008.08	2002.12 – 2008.03	2006 – 2013	2005 – 2013	2006 – 2014	–
Область наблюдений	+90 <sup>o</sup> > δ > -38 <sup>o</sup>	+28 <sup>o</sup> > δ > -90 <sup>o</sup>	South: -20 <sup>o</sup> > δ > -89 <sup>o</sup> North: +66 <sup>o</sup> > δ > +20 <sup>o</sup>	b  > 20 <sup>o</sup>	-25 <sup>o</sup> > δ > +70 <sup>o</sup>  b  > 15 <sup>o</sup>	-80 <sup>o</sup> > δ > 0 <sup>o</sup>  b  > 15 <sup>o</sup>	±5 <sup>o</sup> ecliptic  b  > 15 <sup>o</sup>	Galactic center
D объектива, мм	200 (4 шт.)	200 (4 шт.)	111 (8 шт.)	1016 (2 шт.)	700	500	1500	1300
Фильтр (полоса)	450 – 1000 нм.(~R)	I, V	400 – 700 нм	400 – 1000 нм	CV	CV	CV	I, V
Поле, градусы	8 <sup>o</sup> .2 × 8 <sup>o</sup> .2	8 <sup>o</sup> .5 × 8 <sup>o</sup> .5	7 <sup>o</sup> .8 × 7 <sup>o</sup> .8	1 <sup>o</sup> .60 × 1 <sup>o</sup> .23	4 <sup>o</sup> .2 × 4 <sup>o</sup> .2	8 <sup>o</sup> .1 × 8 <sup>o</sup> .1	1 <sup>o</sup> .2 × 1 <sup>o</sup> .2	0 <sup>o</sup> .583 × 0 <sup>o</sup> .583
Размер ПЗС	2035 × 2069	2048 × 2048	2048 × 2048	2560 × 1960	4096 × 4096	4096 × 4096	4096 × 4096	8192 × 8192 (mosaic)
Пиксель	14".4	14".9	13".7	2".25	3".7	7".1	1".05	0".26
Число набл объектов	1.4 • 10 <sup>7</sup>	10 • 10 <sup>7</sup>	1.8 • 10 <sup>7</sup>	2.5 • 10 <sup>7</sup>	–	–	–	–
Звездная величина	9 <sup>m</sup> .0 – 15 <sup>m</sup> .5	8 <sup>m</sup> – 14 <sup>m</sup> (V) 7 <sup>m</sup> .5 – 13 <sup>m</sup> .5 (I)	10 <sup>m</sup> – 15 <sup>m</sup>	14 <sup>m</sup> – 19 <sup>m</sup>	12 <sup>m</sup> .5 – 19 <sup>m</sup> .5	11 <sup>m</sup> .5 – 19 <sup>m</sup> .0	13 <sup>m</sup> .0 – 21 <sup>m</sup> .5	–
Кол-во наблюдений на объект (сред)	100-500	~400(юж), ~60(сев)	до 20 000	200	200-500	300	300	–
Формат моментов времени	MJD	HJD	HJD	MJD	MJD	MJD	MJD	HJD

Подготовка данных для анализа в основном сводилась к приведению ASCII таблицы в соответствие с форматом, принятым для программы WINEFK В.П. Горанского. В случае SuperWASP данные необходимо было конвертировать из формата FITS в формат ASCII, для чего использовался конвертер, разработанный К.В. Соколовским (Соколовский 2007), доступный по ссылке: [http://scan.sai.msu.ru/swasp\\_converter/](http://scan.sai.msu.ru/swasp_converter/)

Кроме того, для данных обзоров NSVS, LINEAR и Catalina Surveys проводилось приведение модифицированных юлианских дат (MJD) к стандартным юлианским датам (JD) и введение гелиоцентрической поправки к ним (в обзорах ASAS-3 и SuperWASP юлианские даты уже приведены к центру Солнца).

## 1.2 Поиск переменных звезд по данным NSVS

По данным фотометрического обзора NSVS нами найдены 5 новых переменных с двойной периодичностью: QX Cam, тип CEP(B); V1285 Her, тип RR(B); QS Dra и V542 Cam, тип DSCT(B); GSC 4560-2157 (EA+CV). Эти переменные были найдены в ходе систематического поиска новых переменных звезд по данным NSVS, проводившегося автором работы в течение последних десяти лет, результатом которого стало обнаружение более 600 новых переменных звезд, о переменности которых ранее не было известно.

Поиск переменных звезд среди объектов обзора NSVS стал возможен благодаря тому, что в таблице NSVS для каждого объекта указываются такие величины, как *Magnitude Scatter* ( $MS$ , разброс величин) и *Median Error* ( $ME$ , средняя ошибка). Вследствие того, что из-за переменности объекта рассеяние на кривой блеска будет значительно больше средней ошибки наблюдений, для переменных звезд разность величин  $MS - ME$  и их отношение  $MS/ME$  также будут заметно больше, чем для постоянных звезд. Сравнивая переменные и постоянные звезды, близкие по блеску, можно найти некоторые характерные значения этих величин  $K$  и  $M$ , и все объекты из NSVS-таблицы, имеющие

параметры  $MS-ME > K$  и  $MS/ME > M$ , отнести к кандидатам в переменные звезды. В большинстве случаев нами принимались  $K = 0.05$ ,  $M = 2$ . Кроме того, при отборе кандидатов в переменные необходимо учитывать количество наблюдений для данного объекта  $N$ , так как при малых  $N$  на значения величин  $MS$  и  $ME$  оказывают сильное влияние случайные ошибки. Нами рассматривались объекты с  $N > 80$ . Таким образом, для каждого из объектов NSVS-таблицы (при заданных координатах и радиусе поиска) нами вычислялись величины  $MS-ME$  и  $MS/ME$ , после чего отбирались только объекты, обе величины у которых превышали значения  $K$  и  $M$  соответственно.

В ряде случаев поиск переменных звезд может облегчить то обстоятельство, что в таблице NSVS одной звезде часто соответствует несколько объектов с идентичными координатами, что, вероятно, является следствием пересечения фреймов при наблюдениях. Вследствие влияния случайных ошибок даже для постоянной звезды часть объектов может удовлетворять условиям отбора, а другая часть – нет. Напротив, для переменной звезды обычно все объекты NSVS с идентичными координатами удовлетворяют критериям отбора.

Также важно учитывать ещё одну характеристику – так называемые “флаги” (*flags*), обозначаемые набором цифр в последнем столбце в таблице фотометрических данных (после столбца ошибок *error*). Эта характеристика указывает на качество наблюдательных данных. Данные с флагами 0 и 2 – наилучшие (это данные “без флагов”). Данные с большими численными значениями флагов, по мнению разработчиков NSVS, имеют худшее качество и могут содержать значительные ошибки, и их не рекомендуется использовать при анализе. Например, точки с флагом 50 практически все ошибочны.

После отбора кандидатов в переменные проводился анализ на наличие периодичности с использованием программы В.П.Горанского WINEFK всех отобранных объектов.

### 1.3 ПЗС-фотометрия

Наблюдения проводились на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории Астрофизического института им. В. Г. Фесенкова (Алматы, Казахстан, высота 2750 м над уровнем моря) совместно с А. В. Кусакиным в период с 17 декабря 2011 г. по 24 августа 2015 г. (JD 2455913 – 2457259). Часть наблюдений по двум переменным (V1277 Cas и V1280 Cas) была выполнена В. С. Козыревой. В наблюдениях также принимали участие ассистенты-наблюдатели обсерватории И. В. Рева и В. Ю. Мундриевский. Использовались главным образом телескопы Zeiss-1000 (Восточный и Западный). Кроме этого, для нескольких звезд были выполнены наблюдения на телескопе системы Ричи-Кретьена (диаметр 360 мм). Сведения об инструментах наблюдений приведены в Таблице 1.2.

Наблюдения проводились в трёх стандартных фильтрах *B*, *V* и *R* фотометрической системы Джонсона. Обработка полученных изображений и фотометрия переменных звезд проводились с использованием программы MaxIm DL 5. Звездные величины в полосах *B* и *V* привязывались к величинам звезд сравнения из каталога APASS (<http://www.aavso.org/download-apass-data>), для полосы *R* давались разности звездных величин переменной и звезды сравнения (*V*–*C*). Также в нескольких случаях использовались *R*-величины из каталога GSC2.3, а также *V*-величины из каталога Tycho2.

Таблица 1.2. Инструменты наблюдений.

Телескоп	Диаметр зеркала, мм	Фокусное расстояние, мм	ПЗС-камера
Zeiss-1000 (Восточный)	1000	13380 (до JD 2456500) 6650 (после JD 2456500)	Apogee U9000 D9
Zeiss-1000 (Западный)	1000	13250	Apogee F16M
Ричи-Кретьен	360	1440	ST-402 SBIG

## Глава 2. Звезды типа $\delta$ Щита с двойной и множественной периодичностью

Звёзды типа  $\delta$  Щита подразделяют на несколько подтипов:

- 1) звезды типа  $\delta$  Щита большой амплитуды (High-Amplitude Delta Scuti Star, часто используемое международное обозначение HADS) с полными амплитудами более  $0^m.2$ ;
- 2) звезды типа  $\delta$  Щита с амплитудами около  $0^m.10 - 0^m.15$ ;
- 3) малоамплитудные звезды типа  $\delta$  Щита, у которых амплитуды меньше  $0^m.10$ .

По классификации Общего каталога переменных звезд (Самусь и др. 2007 – 2015) первые два типа обозначаются DSCT, третий тип выделен отдельно как DSCTC.

HADS-звезды испытывают радиальные пульсации, и довольно распространенным явлением для них оказалась двойная периодичность, главным образом в основной моде и первом обертоне (F/1O) или, значительно реже, в первом и втором обертонах (1O/2O). Еще реже встречаются звезды, пульсирующие сразу в трёх модах (основной, первом и втором обертонах, F/1O/2O). Для нескольких HADS-звезд с двойной периодичностью в ОКПЗ дан тип DSCT(B). В базе данных переменных звезд VSX Американской ассоциации наблюдателей переменных звезд (AAVSO) таким переменным присваивается тип HADS(B), этого же обозначения мы также придерживаемся в своих работах. На сегодняшний день известно всего 106 HADS-звезд с двойной и множественной периодичностью, 22 из которых (21%) найдены автором работы. Кроме того, встречаются HADS-звезды, у которых возбуждена одна (или несколько) нерадиальных мод малой амплитуды. Периоды известных HADS-звезд с двойной и множественной периодичностью охватывают практически весь диапазон периодов, характерных для звезд типа  $\delta$  Щита: наименьший известный период основной моды пульсаций составляет 0.045822 сут., наибольший – 0.292444 сут.



Все звезды третьего типа (DSCTC) и бóльшая часть звезд второго типа пульсируют нерадиально, при этом подавляющее большинство DSCTC-звезд – это мультипериодические переменные, у которых возбуждены несколько нерадиальных мод с близкими частотами. Амплитуды изменения блеска таких переменных малы, поэтому с повышением точности фотометрии их число значительно увеличилось.

## 2.1 Звезды HADS(B) F/10

Всего известно 90 переменных типа HADS, пульсирующих в основной моде и первом оберitone, двойная периодичность семнадцати из которых (19%) найдена автором работы. Результаты нашего поиска представлены в таблице 2.1. В таблице даны координаты равноденствия 2000.0, обозначения по каталогам OKPЗ, Tycho2, GSC и USNO-B1.0, звездная величина, период пульсации в основной моде ( $P_0$ ) и в первом оберitone ( $P_1$ ), отношение периодов ( $P_1/P_0$ ), буквенная ссылка на данные (A – ASAS, C – CSS, N – NSVS, S – SSS, W – WASP, CCD – выполненные автором ПЗС-наблюдения), ссылка на публикацию. Звездочкой в последнем столбце отмечены публикации в соавторстве.

Для всех исследованных переменных были построены кривые блеска, пример которых представлен на рисунке 2.1. На верхних графиках показаны кривые блеска с периодами основной моды и первого обертона, построенные из исходных данных, на нижних – кривые блеска для соответствующих периодов, когда все другие обнаруженные колебания исключены. Кроме того, для подтверждения вторичной пульсации, в особенности при ее малой амплитуде, приводится также спектр мощности для частот  $f_1$  и  $f_0$  (внизу частота  $f_1$  исключена).

Таблица 2.1. F/IO HADS(B)-звезды.

№	Координаты (J2000)	Обозначение	mag	P <sub>0</sub> , сут	P <sub>1</sub> , сут	P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	Данные	Публ.
1	03 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 07 <sup>s</sup> .27, +07° 59' 15".4	V1384 Tau	11.0 – 11.4 (V)	0.1397914	0.1073918	0.7682	A, N	[7]
2	04 26 05.90, +01 26 26.2	V1392 Tau	12.00 – 12.55 (V)	0.07443025	0.05790307	0.77795	A, N, CCD	[17], [27]*
3	04 44 37.78, +42 54 34.4	USNO-B1.0 1329-0132547	17.28 – 17.58 (V)	0.16189	0.12413	0.7668	CCD	[32]*
4	04 53 46.52, +68 28 26.5	V0542 Cam	11.55 – 12.0 (R)	0.174773	0.133986	0.7666	N	[18]
5	06 25 41.61, +22 06 19.5	GSC 1340-00246	12.20 – 12.65 (WASP)	0.1526484	0.1173070	0.7685	A, W	[39]
6	08 18 06.98, –22 14 07.7	V0733 Pup	12.05 – 12.8 (V)	0.2287147	0.1742342	0.7618	A	[17]
7	11 09 52.24, –60 57 56.7	V0899 Car	11.8 – 12.4 (V)	0.1108014	0.0858512	0.7748	A	[7]
8	13 57 15.60, –52 55 22.6	V1393 Cen	9.16 – 9.63 (V)	0.1177831	0.0908322	0.7712	A	[7]
9	15 21 34.64, +61 29 22.8	QS Dra	12.63 – 13.16 (V)	0.09442318	0.07304432	0.77358	N, CCD	[3], [36]*
10	15 23 15.43, –56 03 43.2	TYC 8699 00544 1	11.22 – 11.57 (V)	0.1267467	0.0976718	0.7706	A	[30]
11	16 29 40.31, +57 20 33.3	GSC 3881-00874	13.24 – 13.48 (WASP)	0.06114265	0.0475034	0.7769	W	[30]
12	18 25 36.26, –42 13 35.8	V0756 CrA	11.43 – 12.03 (V)	0.1071934	0.0821611	0.7665	A	[17]
13	19 22 27.39, –56 22 28.1	V0388 Tel	11.64 – 12.08 (V)	0.1490898	0.1127701	0.7564	A	[17]
14	20 10 22.51, –23 10 59.7	GSC 6905-01641	14.84 – 15.29 (CV)	0.0688009	0.0532926	0.7746	S	[30]
15	21 29 52.69, –01 10 18.9	V0371 Aqr	14.22 – 14.65 (CV)	0.0805860	0.0624379	0.7748	C	[26]*
16	22 05 31.83, –22 30 00.8	AG Aqr	14.57 – 14.99 (CV)	0.291737	0.222202	0.7617	S	[26]*
17	23 18 01.14, –45 19 55.0	GSC 8455-00781	12.79 – 13.74 (CV)	0.1150105	0.0889176	0.7731	A, S, W	[39]

Отнесение звезд с двойной периодичностью с экстремально большими периодами к типу  $\delta$  Щита часто определяется характерным значением отношения периодов  $P_1/P_0$ . Например, AG Aqr (№ 16) имеет основной период  $P_0 = 0.291737$  сут., характерный для звезд типа RR Лиры подтипа RRC (пульсации в первом оберitone), форма кривой блеска также не противоречит типу RRC, хотя звезды типа RR Лиры с двойной периодичностью, RR(B), с такими периодами среди звезд поля не известны (за исключением нескольких звезд в направлении на центр Галактики, обнаруженных в ходе проекта OGLE-III, см. главу 3). При этом отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7617$  совершенно не характерно для звезд типа RR Лиры с двойной периодичностью, RR(B), но вполне удовлетворяет классификации переменной как HADS(B).

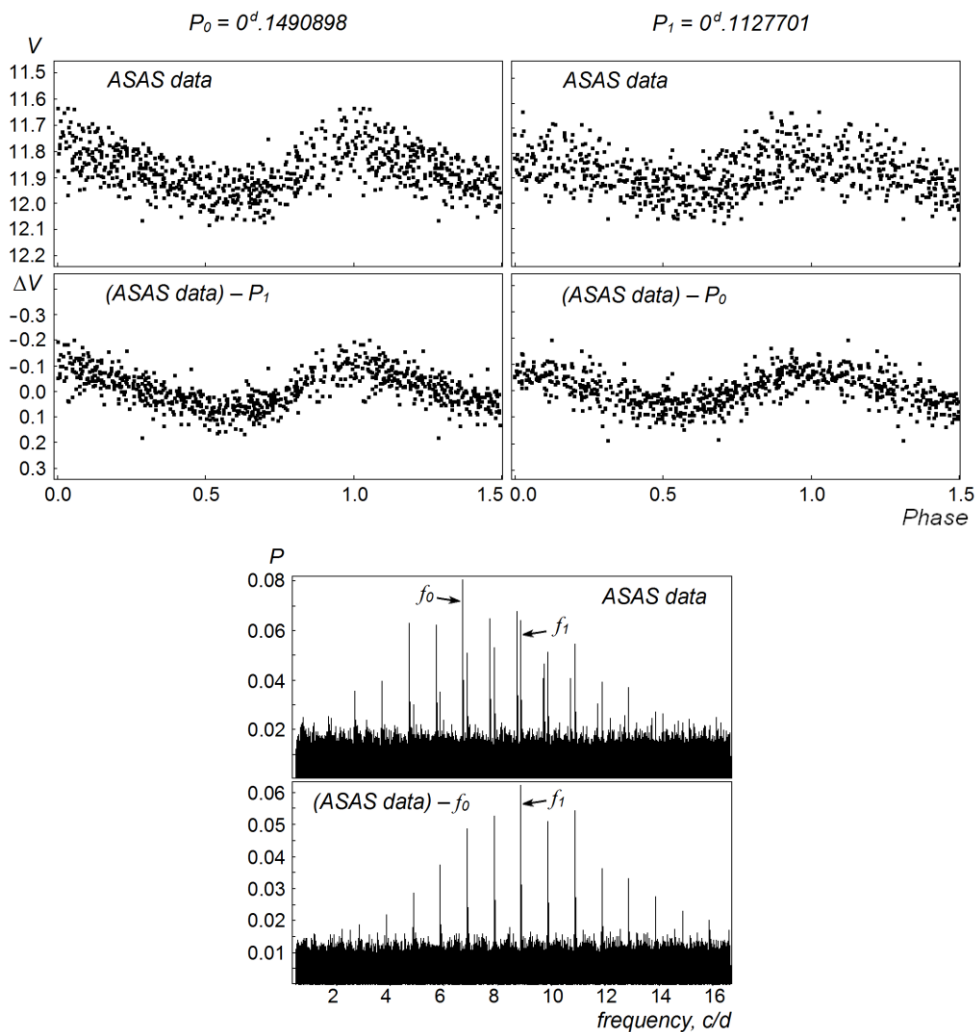


Рис. 2.1. Кривые блеска и спектры мощности HADS(B)-звезды V388 Tel (№ 13) по данным ASAS-3.

## 2.2 ПЗС-наблюдения звезд HADS(B) F/10

Для трёх звезд типа HADS(B) основной моды и первого обертона (V1392 Tau, QS Dra и USNO-B1.0 1329-0132547) были выполнены серии ПЗС-наблюдений, которые позволили определить (либо уточнить для ранее известных HADS(B)-звезд) элементы изменения блеска обоих колебаний, получить пределы изменения блеска и амплитуды в стандартных фотометрических полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$  системы Джонсона, обнаружить ряд частот взаимодействия основных мод пульсаций. Переменность двух последних звезд найдена автором, двойная периодичность у всех трех звезд обнаружена автором.

### V1392 Tau

Переменность V1392 Tau = TYC 0075 01143 1 (04<sup>h</sup> 26<sup>m</sup> 05<sup>s</sup>.90 +01° 26' 26".2, J2000.0) была обнаружена в ходе осуществления проекта ASAS-3 (Поймански 2002). В каталоге переменных ASAS-3 (ASAS 042606+0126.4) дана классификация EC/DSCT (контактная затменная или переменная типа  $\delta$  Щита), указан период  $P=0.07443$  сут. По тем же данным обзора ASAS-3 мы подтвердили принадлежность переменной к звездам типа  $\delta$  Щита, см. [17], и нашли двойную периодичность со следующими элементами:

Таблица 2.2. Элементы изменения блеска V1392 Tau, данные ASAS-3, [17].

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда $V$ , mag	Период, сут.	Эпоха, HJD
$f_0$	13.43542	0.126	0.0744301	2453600.043
$f_1$	17.27023	0.062	0.0579031	2453600.049

Отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7780$  характерно для пульсаций в основной моде и первом обертоне звезд типа HADS(B).

Нами были проведены наблюдения на 360 мм телескопе системы Ричи-Кретьюна в период с 17 декабря 2011 г. по 20 ноября 2012 г. (JD 2455913 – 2456252), всего 11 ночей, 1718 оценок блеска в полосе  $V$ , длительность

экспозиции 60 с. Обработка полученных изображений и фотометрия переменной проводились с использованием программы MuniWin. В качестве звезды сравнения была выбрана GSC 00075-01862 ( $V = 12^m.70$  согласно Tucho2), в качестве контрольной звезды GSC 00075-01079. Результаты наблюдений приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Элементы изменения блеска V1392 Тау, ПЗС-наблюдения, [27].

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда $V$ , mag	Период, сут.	Эпоха, HJD
$f_0$	13.435398	0.126	0.07443025	2456100.0083
$f_1$	17.270241	0.074	0.05790307	2456100.0133
$f_1 + f_0$	30.70565	0.024	0.0325673	2456100.0084
$f_1 - f_0$	3.834915	0.016	0.260762	2456100.017
$f_N$	25.68687	0.016	0.0389304	2456100.0065

Уточнены значения периодов  $P_0$  и  $P_1$  (с учётом данных ASAS-3), найдены частоты взаимодействия двух основных колебаний ( $f_1 + f_0, f_1 - f_0$ ), а также частота  $f_N$ , вероятно нерадиальная пульсация. Пределы изменения блеска в полосе  $V$  Джонсона  $12^m.00 - 12^m.55$ . Уточненное значение отношения основных периодов  $P_1/P_0 = 0.77795$ . Кривые блеска V1392 Тау приведены на рисунке 2.2. Результаты опубликованы в нашей статье [27].

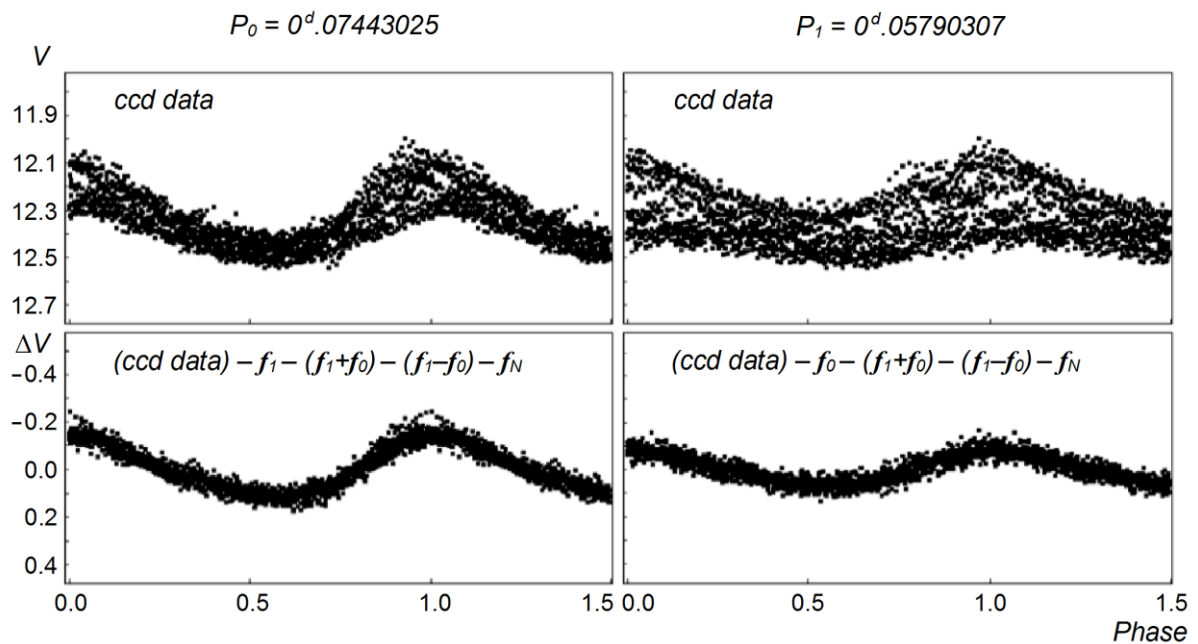


Рис. 2.2. Кривые блеска V1392 Тау по данным ПЗС наблюдений.

## QS Dra

Переменность QS Dra = GSC 4181-00046 ( $15^{\text{h}} 21^{\text{m}} 34^{\text{s}}.69 +61^{\circ} 29' 22''.7$ , J2000.0) была обнаружена автором [3] по данным Northern Sky Variability Survey. Сразу же было установлено, что переменная относится к HADS звездам с двойной периодичностью и имеет следующие элементы:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2451407.680 + 0^{\text{d}}.0944226 \times E \text{ (основная мода, } f_0)$$

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2451407.688 + 0^{\text{d}}.0730446 \times E \text{ (первый обертона, } f_1).$$

Отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7736$ .

Нами проведена ПЗС-фотометрия переменной в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$  системы Джонсона. Наблюдения были выполнены в интервале JD 2456364 – 2456783 главным образом на телескопе Zeiss-1000 Восточный, а также на телескопе Zeiss-1000 Западный (три последние ночи JD 2456774, 2456781 и 2456783). Обработка полученных изображений и фотометрия переменной проводились с использованием программы MaxIm DL 5. В качестве звезды сравнения была выбрана GSC 4181-00052 ( $V = 14^{\text{m}}.129$ ,  $B = 14^{\text{m}}.529$ , согласно каталогу AAVSO Photometric All-Sky Survey, APASS), в качестве контрольной звезды выбрана GSC 4181-00443.

Уточнены значения периодов  $P_0$  и  $P_1$ , найдены частоты взаимодействия двух основных колебаний ( $f_1 + f_0, f_1 - f_0, 2f_0, f_1 + 2f_0$ ). Пределы изменения блеска  $12^{\text{m}}.71 - 13^{\text{m}}.37$  в полосе  $B$ ,  $12^{\text{m}}.63 - 13^{\text{m}}.16$  в полосе  $V$ . В полосе  $R$  полная амплитуда составляет  $0^{\text{m}}.43$ . Уточненное значение отношения основных периодов  $P_1/P_0 = 0.77358$ . Заметно различие моментов максимума блеска фазовой кривой в разных полосах (особенно в полосе  $B$  для  $f_0$ , но не исключено, что это следствие меньшей полноты ряда наблюдений в полосе  $B$ ). Элементы изменения блеска и параметры частот взаимодействия приведены в таблицах 2.3а и 2.3б. Кривые блеска QS Dra приведены на рисунке 2.3. Результаты опубликованы в нашей статье [36].

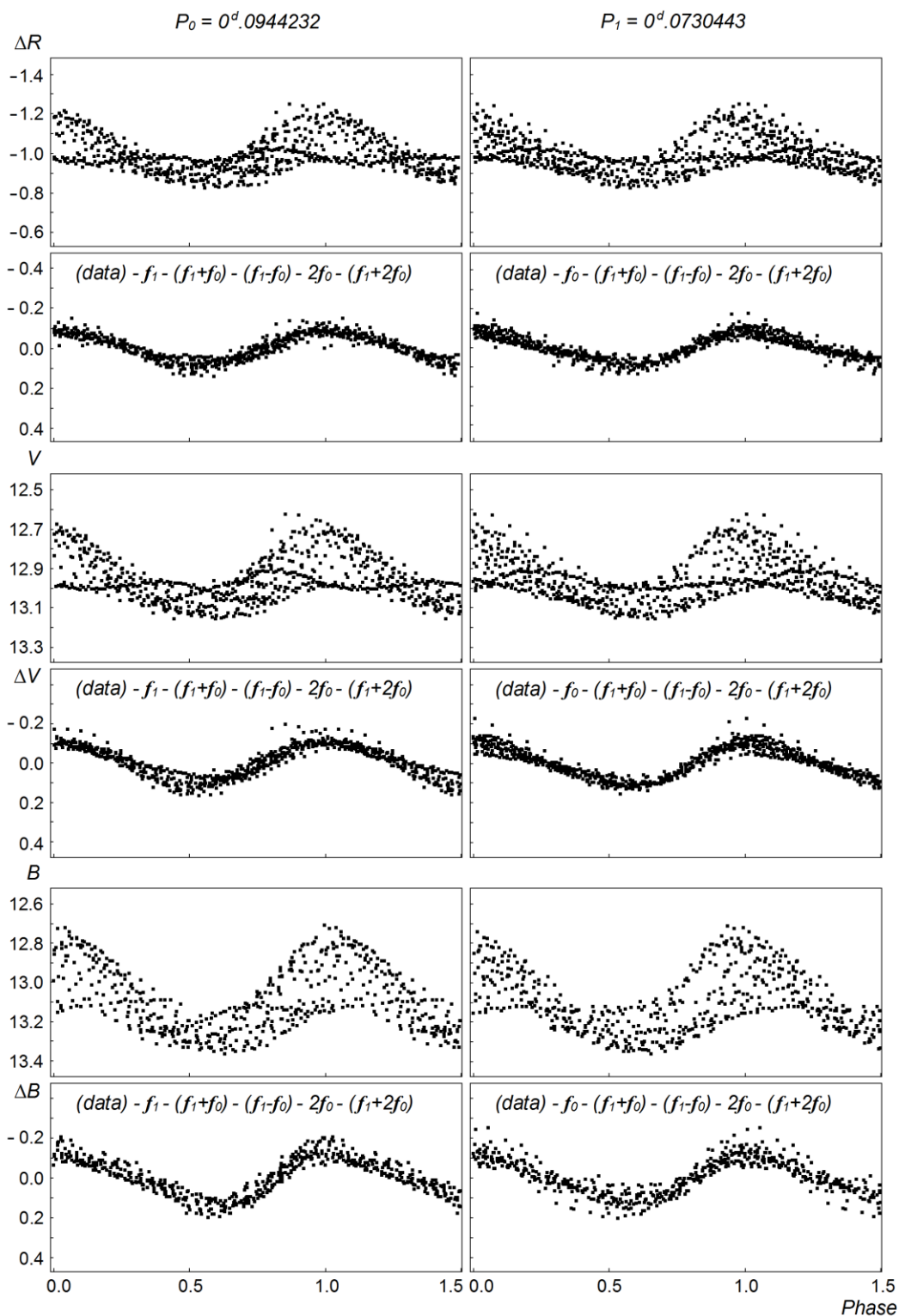


Рис. 2.3. Кривые блеска QS Dra в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$ .

Таблица 2.3а. QS Dra, элементы колебаний  $f_0$  и  $f_1$ .

Мода	Период, сут.	Эпоха, HJD 2456565+		
		$B$	$V$	$R$
$f_0$	0.09442318	0.0738	0.0777	0.0783
$f_1$	0.07304432	0.0552	0.0555	0.0563

Таблица 2.3b. QS Dra, частоты и амплитуды.

Мода	Частота, цикл/сут.	Период, сут.	Полуамплитуда, mag		
			<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>
$f_0$	10.590620	0.09442318	0.1188	0.1073	0.0814
$f_1$	13.690318	0.07304432	0.1152	0.1041	0.0852
$f_1 + f_0$	24.28086	0.0411847	0.0336	0.0272	0.0223
$f_1 - f_0$	3.0998	0.3226	0.0234	0.0196	0.0155
$2f_0$	21.18128	0.0472115	0.0204	0.0112	0.0088
$f_1 + 2f_0$	34.87155	0.02867667	0.0107	0.0040	0.0038

### USNO-B1.0 1329-0132547

Переменность USNO-B1.0 1329-0132547 (04<sup>h</sup> 44<sup>m</sup> 37<sup>s</sup>.78 +42° 54' 34".4, J2000.0) была обнаружена автором по ПЗС наблюдениям при поиске новых переменных в окрестностях наблюдавшейся цефеиды с двойной периодичностью GSC 2901-00089.

Нами проведена ПЗС-фотометрия переменной в полосах *B*, *V* и *R* системы Джонсона. Наблюдения были выполнены на телескопе Zeiss-1000 Восточный в интервале JD 2456571 – 2456597. Обработка полученных изображений и фотометрия переменной проводились с использованием программы MaxIm DL 5. В качестве звезды сравнения была выбрана USNO-B1.0 1329-0132636 ( $V = 15^m.107$ ,  $B = 16^m.128$ , согласно каталогу APASS), в качестве контрольной звезды взята USNO-B1.0 1329-0132524.

Звезда показывает переменность, характерную для радиально пульсирующих звезд типа HADS(B) F/10. Элементы изменения блеска и амплитуды для обоих колебаний даны в таблице 2.4. Кривые блеска приведены на рисунке 2.4.

Таблица 2.4. USNO-B1.0 1329-0132547, амплитуды и элементы изменения блеска.

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда, mag			Период, сут.	Эпоха, HJD
		<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>		
$f_0$	6.1770	0.051	0.046	0.034	0.16189	2456585.582
$f_1$	8.0561	0.053	0.049	0.040	0.12413	2456585.598



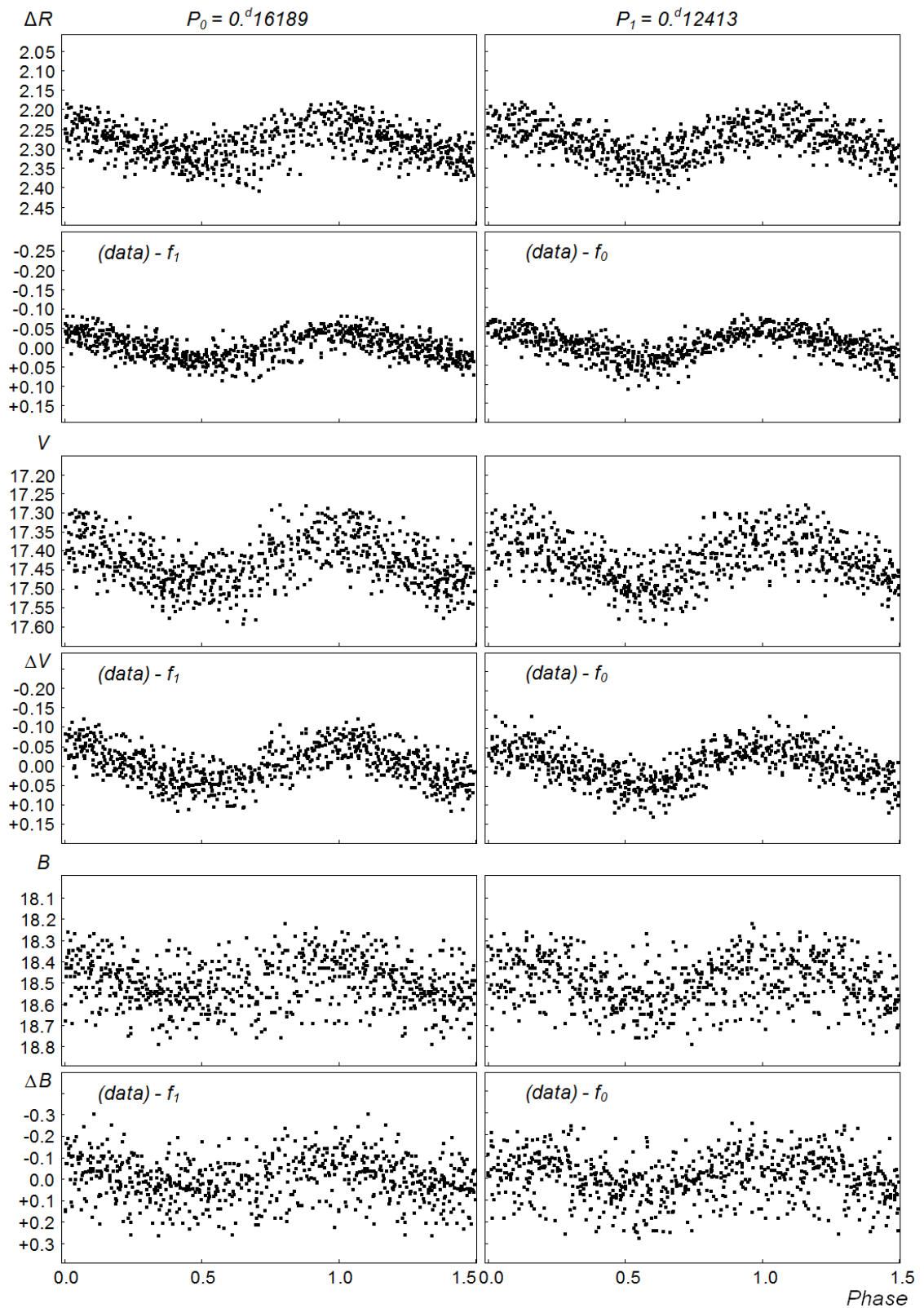


Рис. 2.4. Кривые блеска USNO-B1.0 1329-0132547 в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$ .

Пределы изменения блеска  $17^m.28 - 17^m.58$  в полосе  $V$ ,  $18^m.3 - 18^m.7$  в полосе  $B$ , полная амплитуда в полосе  $R$  составляет  $0^m.22$ . Отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7668$  характерно для HADS-звезд, пульсирующих в основной моде и первом обертоне. Результат опубликован в статье [32].

### 2.3 Звезды HADS(B) 1O/2O

HADS-звезд, пульсирующих в первом и втором обертонах (1O/2O), значительно меньше, чем пульсирующих в основной моде и в первом обертоне. На сегодняшний день в галактическом поле известно 7 таких звезд, двойная периодичность трёх из которых найдена автором работы. Первая переменная данного типа, VZ Cnc ( $P_1 = 0.17836376$  сут.,  $P_2/P_1 = 0.8006$ ), была найдена ещё в середине прошлого столетия (Фич 1955). Двойная периодичность двух других HADS-звезд 1O/2O была обнаружена значительно позже. Мантегацца и Поретти (1986) выявили двойную периодичность V1719 Cyg ( $P_1 = 0.2672971$  сут.,  $P_2/P_1 = 0.7998$ ). Через два года была заподозрена двойная периодичность у V798 Cyg ( $P_1 = 0.1947725$  сут.,  $P_2/P_1 = 0.8010$ , Поретти и Антонелло 1988), но окончательно ее наличие у этой звезды было подтверждено только через десятилетие Музацци и др. (1998). Пьетрукович и др. (2013) также обнаружили 1O/2O переменную OGLE-GD-DSCT-0044 ( $P_1 = 0.15638514$  сут.,  $P_2/P_1 = 0.7982$ ).

Результаты наших исследований двойной периодичности HADS-звезд 1O/2O представлены в таблице 2.5. Для выявления двойной периодичности использовались в основном данные электронного архива ASAS-3, для VY Equ (№3) дополнительно также анализировались данные NSVS. В таблице даны координаты на эпоху 2000.0, обозначения по каталогам ОКПЗ и Tycho2, звездная величина, периоды пульсации в первом ( $P_1$ ) и во втором ( $P_2$ ) обертонах, отношение периодов ( $P_2/P_1$ ), буквенная ссылка на данные (см. таблицу 2.1), ссылка на публикацию.

Таблица 2.5. 10/20 HADS(B)-звезды.

№	Координаты (J2000)	Обозн.	mag	$P_1$ , сут	$P_2$ , сут	$P_2/P_1$	Публ.
1	09 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup> .34, -52° 02' 28".7	V0526 Vel	9.60 – 9.97	0.0774590	0.0624489	0.8062	[17]
2	16 20 21.77, -35 41 16.0	V1553 Sco	9.41 – 9.68	0.1843001	0.1470447	0.7978	[7]
3	20 58 49.64, +08 54 05.3	VY Equ	10.21 – 10.51	0.1764484	0.1407792	0.7978	[17]

Кривые блеска звезды №2 показаны на рисунке 2.5.

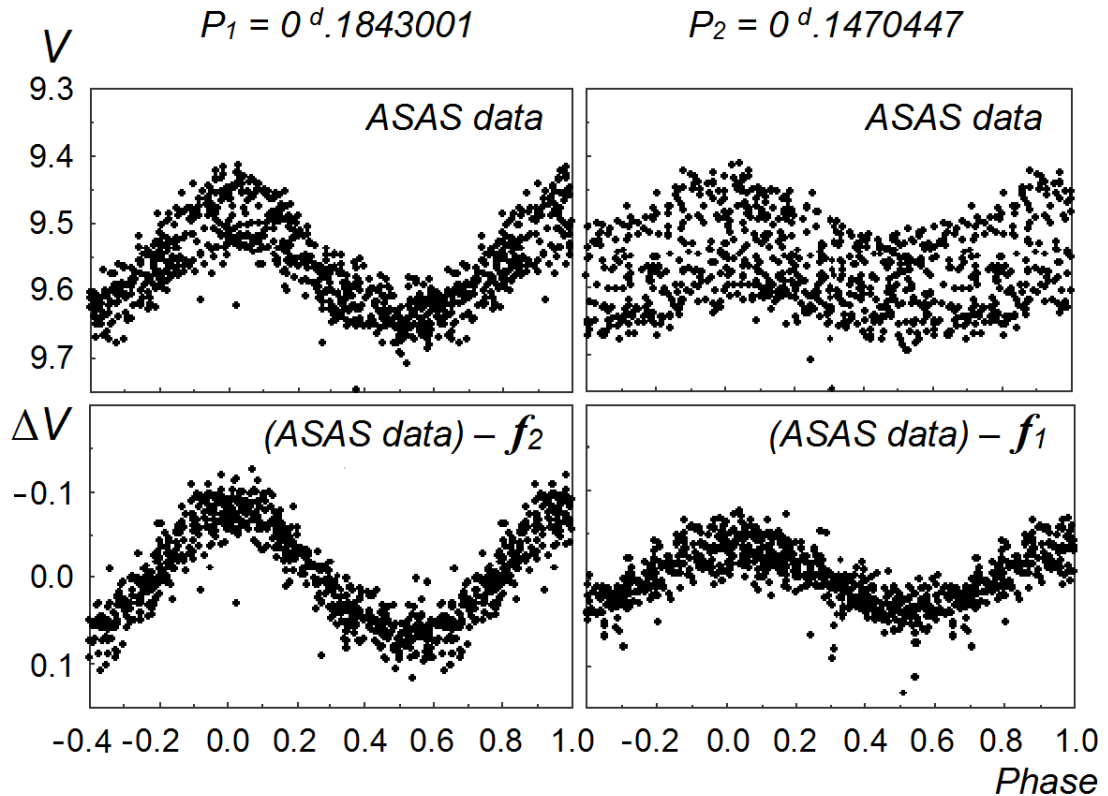


Рис. 2.5. Кривые блеска V1553 Sco (№2).

Отношение амплитуд изменения блеска первого и второго обертонов может быть как достаточно большим, как, например, у V1719 Cyg ( $A_1/A_2 = 5.6$ ), V798 Cyg ( $A_1/A_2 = 12.5$ ) и V526 Vel ( $A_1/A_2 = 7.5$ ), следствием чего является малое рассеяние на кривой блеска и повышенная сложность выявления двойной периодичности, так и малым (когда амплитуды обеих пульсаций почти равны), что отмечается у V1553 Sco ( $A_1/A_2 = 1.8$ ) и TYC 1103 01012 1 ( $A_1/A_2 = 1.3$ ). VZ Cnc имеет среднее значение отношения амплитуд ( $A_1/A_2 = 3.4$ ).

Особенностью распределения по периодам известных на сегодняшний день HADS(B)-звезд 1O/2O является то, что только одна переменная, V526 Vel, имеет характерный для звезд типа  $\delta$  Щита короткий период  $P_1 = 0.0774590$  сут., пять других переменных имеют периоды, близкие к предельно большим периодам для звезд типа  $\delta$  Щита (причем основной моды  $P_0$ ), которые находятся в интервале от 0.176 до 0.267 суток.

## 2.4 Звезды HADS(B) пульсирующие в трёх модах, F/1O/2O

К настоящему времени открыто 9 HADS(B)-переменных, которые пульсируют одновременно в трёх модах (основной моде, первом и втором обертонах). Из них две звезды выявлены автором работы. Первой известной звездой этого типа стала V829 Aql, открытая Хандлером и др. (1998). Значительно позже была открыта тройная периодичность DO CMi (Вилс и др. 2008) и ASAS 194803+4146.9 = KIC 6382916 (Улусой и др. 2013). Пьетрукович и др. (2013) в южных областях Млечного Пути нашли 4 переменные F/1O/2O (OGLE-GD-DSCT-0021, OGLE-GD-DSCT-0033, OGLE-GD-DSCT-0048, OGLE-GD-DSCT-0049), у некоторых из которых обнаружены дополнительные нерадиальные моды. В этой же работе сообщается о двух пока уникальных случаях: переменной типа  $\delta$  Щита OGLE-GD-DSCT-0071, пульсирующей в первом, втором и третьем обертонах, а также OGLE-GD-DSCT-0025, пульсирующей сразу в четырёх модах (F/1O/2O/3O).

Результаты поиска переменных HADS(B) F/1O/2O автором работы представлены в таблице 2.6. В таблице даны обозначения по каталогам ОКПЗ и Tycho2, координаты равноденствия 2000.0, звездная величина, периоды пульсации в основной моде ( $P_0$ ), в первом ( $P_1$ ) и во втором ( $P_2$ ) обертонах, отношения периодов ( $P_1/P_0$  и  $P_2/P_1$ ), буквенная ссылка на данные (см. таблицу 2.1). Полученные результаты по обоим переменным опубликованы в нашей статье [30].

Таблица 2.6. F/1O/2O HADS(B)-звезды.

Обозначение	V0803 Aur	V1647 Sco
Координаты (J2000)	06 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup> 13 <sup>s</sup> .90, +31° 48' 24".4	17 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> .20, -30° 42' 46".6
mag	12.89 – 13.20 (WASP)	12.10 – 12.50 (V)
P <sub>0</sub> , сут	0.0710556	0.1184880
P <sub>1</sub> , сут	0.0550312	0.0912733
P <sub>2</sub> , сут	0.0443919	0.0732372
P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	0.7745	0.7703
P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub>	0.8067	0.8024
Данные	W	A

Переменность V0803 Aur открыли Пржибик и Брат (2009). Переменная была классифицирована как звезда типа  $\delta$  Щита с двойной периодичностью, определены периоды P<sub>0</sub> и P<sub>1</sub>. Кроме того, был найден период 0.04250400 сут., который рассматривался как дополнительная частота (вероятно, нерадиальная пульсация). Нами были проанализированы данные из обзора SuperWASP (2274 наблюдения после удаления данных с ошибками  $err > 0^m.03$ ), что позволило выяснить, что V0803 Aur на самом деле F/1O/2O звезда, а дополнительная частота, которую выявили Пржибик и Брат (2009), является суточно-сопряженной найденной нами частоте  $f_2$ . Также были обнаружены частоты взаимодействия всех трёх мод радиальных пульсаций ( $f_1-f_0, f_2-f_0, f_1+f_0, f_2+f_0$ ), что также подтверждает существование частоты  $f_2$ .

Переменная V1647 Sco = NSV 09856 была отнесена к типу  $\delta$  Щита Казаровец и Пастуховой (2013) по данным фотометрического обзора ASAS-3. Повторно анализируя те же самые данные, мы обнаружили, что звезда пульсирует в трёх радиальных модах. Кривые блеска V1647 Sco для трёх мод пульсаций приведены на рисунке 2.6. Дополнительно приведены спектры мощности для всех радиальных мод, а также для частот взаимодействия.

V0803 Aur имеет наименьший период среди известных на сегодняшний день HADS(B)-звезд с тройной периодичностью F/1O/2O.

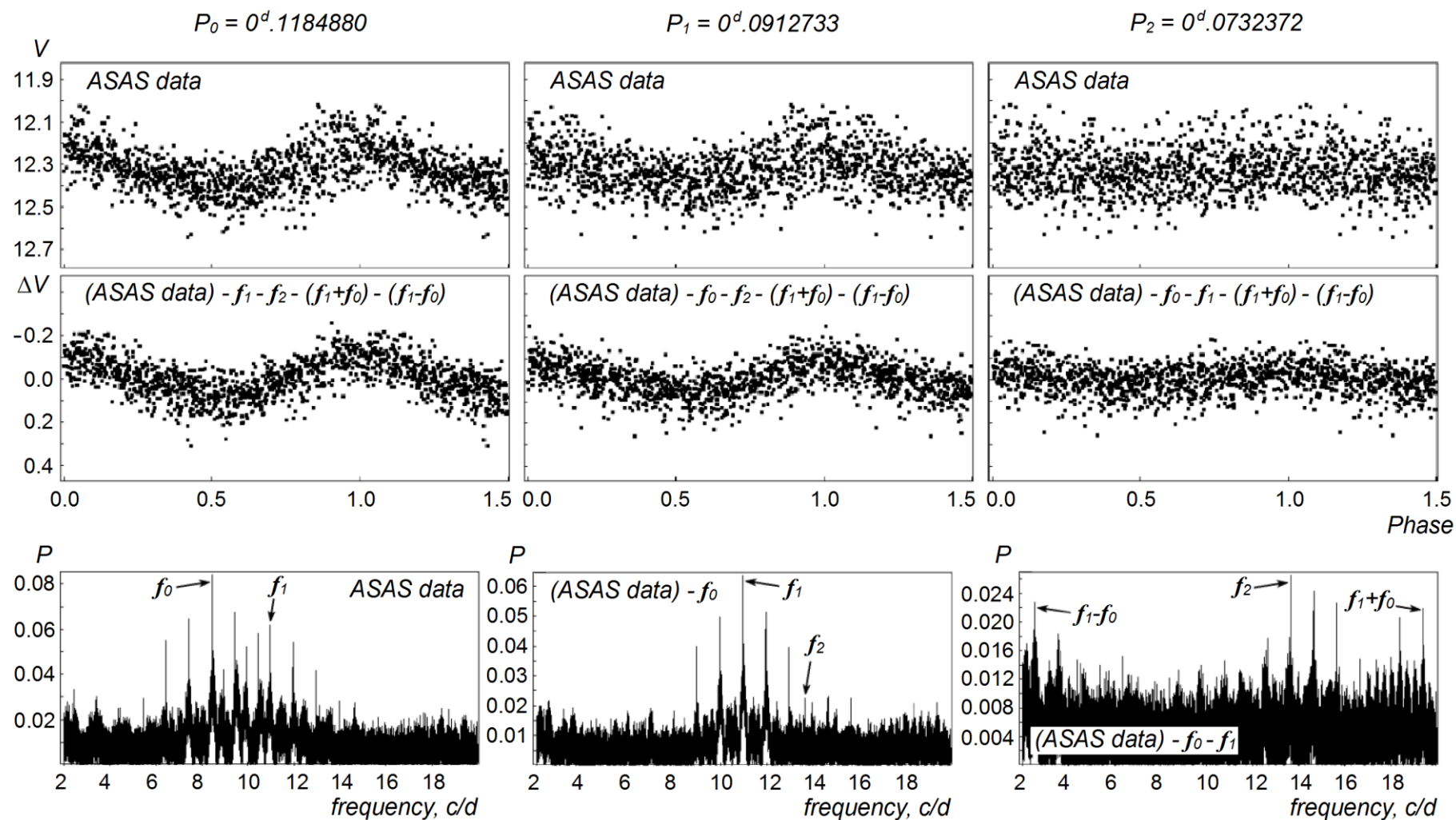


Рис. 2.6. Кривые блеска и спектры мощности V1647 Sco = NSV 09856 (использованы данные ASAS-3)

## 2.5 Звезды типа $\delta$ Щита 2O/3O

Существование пульсаций с двойной периодичностью во втором и третьем обертонах у звезд типа  $\delta$  Щита пока еще не установлено с полной достоверностью, но известен ряд переменных, являющихся кандидатами в эту группу звезд. У таких звезд отношение периодов  $P_3/P_2$  должно быть заметно меньше, чем  $P_2/P_1$ . Амплитуды колебаний  $f_2$  и  $f_3$  должны быть невелики. На сегодняшний день в Магеллановых Облаках и Галактике найдено несколько случаев, удовлетворяющих этим условиям.

В Малом Магеллановом Облаке в ходе анализа результатов проекта OGLE-III (Полески и др. 2010) обнаружены три переменные 2O/3O: OGLE-LMC-DSCT-0915 ( $P_2 = 0.157394291$  сут.,  $P_3/P_2 = 0.8357$ ), OGLE-LMC-DSCT-1071 ( $P_2 = 0.085116541$  сут.,  $P_3/P_2 = 0.8476$ ), OGLE-LMC-DSCT-1531 ( $P_2 = 0.142628295$  сут.,  $P_3/P_2 = 0.8345$ ). Пьетрукович и др. (2013) нашли две мультипериодические переменные с предполагаемыми пульсациями во втором и третьем обертонах: OGLE-GD-DSCT-0025 (F/1O/2O/3O,  $P_3/P_2 = 0.8416$ ) и OGLE-GD-DSCT-0071 (1O/2O/3O,  $P_3/P_2 = 0.8334$ ).

Нами выделены две переменные типа  $\delta$  Щита, которые с большой вероятностью пульсируют во втором и третьем обертонах. Результаты представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7. Переменные типа  $\delta$  Щита 2O/3O.

Обозначение	FH Cir	TYC 2706 01244 1
Координаты (J2000)	15 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 06 <sup>s</sup> .66, -60° 27' 57".5	21 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup> .68, +33° 17' 34".3
mag	10.11 - 10.32 (V)	10.47 - 10.69 (WASP)
$P_2$ , сут	0.1522950	0.1053020
$P_3$ , сут	0.1260864	0.0878477
$P_3/P_2$	0.8279	0.8342
Частоты взаимодействия	$f_3+f_2$	$f_3+f_2, f_3-f_2, 2f_3+f_2, f_3+2f_2$
Публикация	[10]	[30]
Амплитуды ( $A_2/A_3$ ), mag	0.059 / 0.019 (V)	0.040 / 0.060 (WASP), 0.044 / 0.052 (R)
Данные	A	W, N

В таблице даны обозначения по каталогу Tycho2, координаты на эпоху 2000.0, звездная величина, периоды пульсации во втором ( $P_2$ ) и третьем ( $P_3$ )

обертонках, отношение периодов ( $P_3/P_2$ ), обнаруженные частоты взаимодействия двух основных частот, ссылка на публикацию, амплитуды обеих частот ( $A_2/A_3$ ), буквенная ссылка на данные (см. таблицу 2.1).

Переменность FH Cir = TYC 9020 00319 1 была обнаружена в проекте ASAS-3 (Поймански 2002). Переменная была классифицирована как звезда типа  $\delta$  Щита с периодом 0.152295 сут. По тем же самым данным нами обнаружена двойная периодичность (период вторичной пульсации 0.1260864 сут., а также одна частота взаимодействия двух основных частот. Первоначально мы отнесли переменную к звездам типа  $\delta$  Щита с нерадиальными пульсациями, результат опубликован в списке таких переменных в нашей статье [10]. Показатели цвета  $B-V = 0.565$  (Tycho2),  $J-H = 0.201$  (2MASS). Спектры мощности всех колебаний и кривые блеска FH Cir приведены на рисунке 2.7.

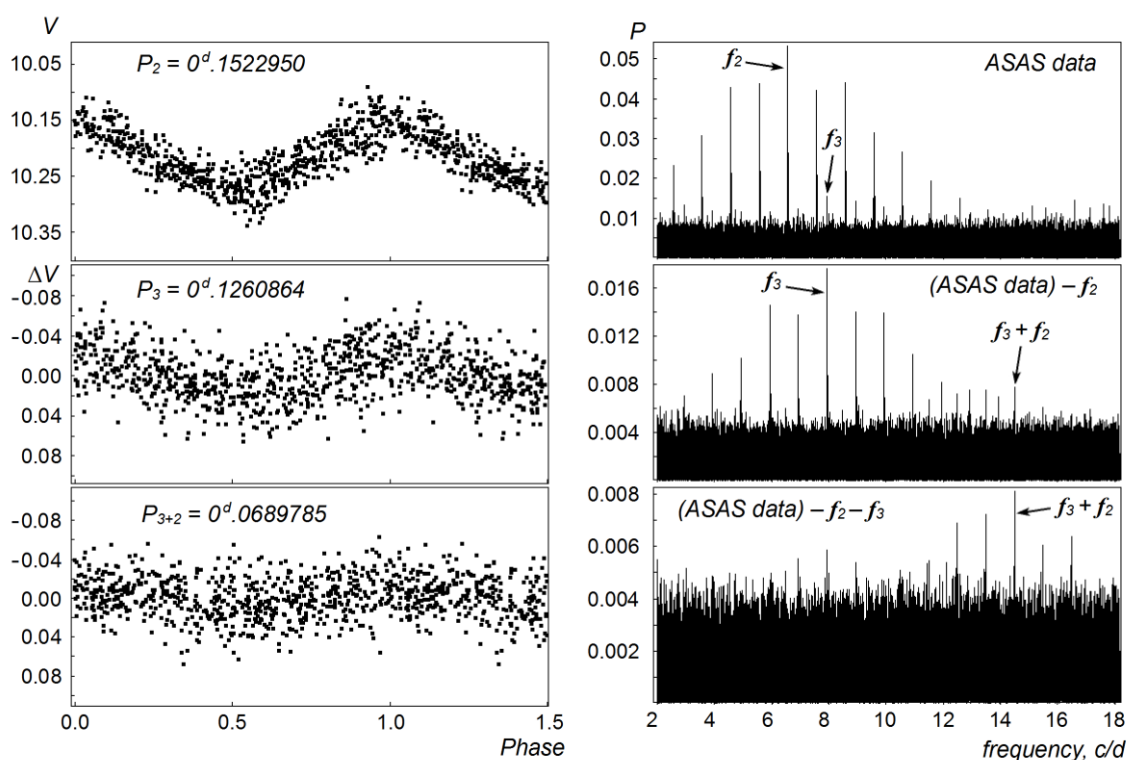


Рис. 2.7. Кривые блеска и спектры мощности FH Cir = TYC 9020 00319 1 (наблюдения ASAS-3).

О переменности TYC 2706 01244 1 впервые сообщил Г. Срдок (Gregor Srdoc) в 2011 г. в базе данных по переменным звездам VSX Американской



ассоциации наблюдателей переменных звезд (AAVSO), VSX J211253.6+331734. По данным 1SWASP переменная была отнесена к HADS-звездам, были получены следующие элементы изменения блеска:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2454318.4732 + 0^{\text{d}}.08785 \times E.$$

Используя те же данные, мы обнаружили двойную периодичность переменной, получили элементы изменения блеска для обеих пульсаций, обнаружили четыре частоты взаимодействия. Показатели цвета  $B-V = 0.402$  (Tycho2),  $J-K = 0.210$  (2MASS). Кривые блеска TYC 2706 01244 1 приведены на рисунке 2.8.

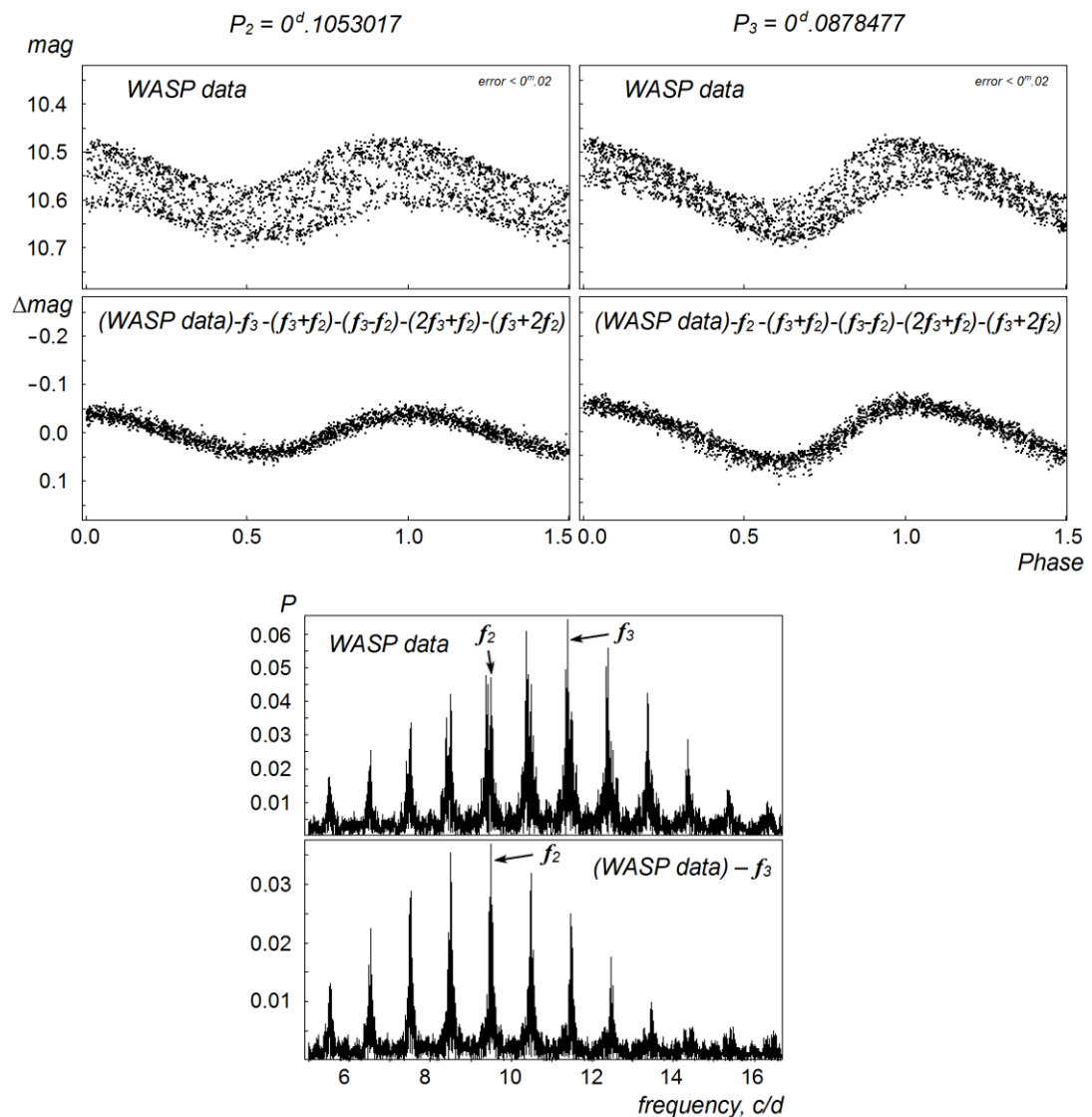


Рис. 2.8. Кривые блеска и спектры мощности TYC 2706 01244 1 (наблюдения 1SWASP).

## 2.6 Диаграмма Петерсена для HADS(B) звезд

В этом разделе нами суммированы результаты пяти предыдущих разделов второй главы, посвященных HADS(B) звездам, в виде диаграммы Петерсена – графика зависимости отношения периодов (меньшего периода  $P_S$  к большему периоду  $P_L$ ) от величины большего периода  $P_L$  (рисунок 2.9).

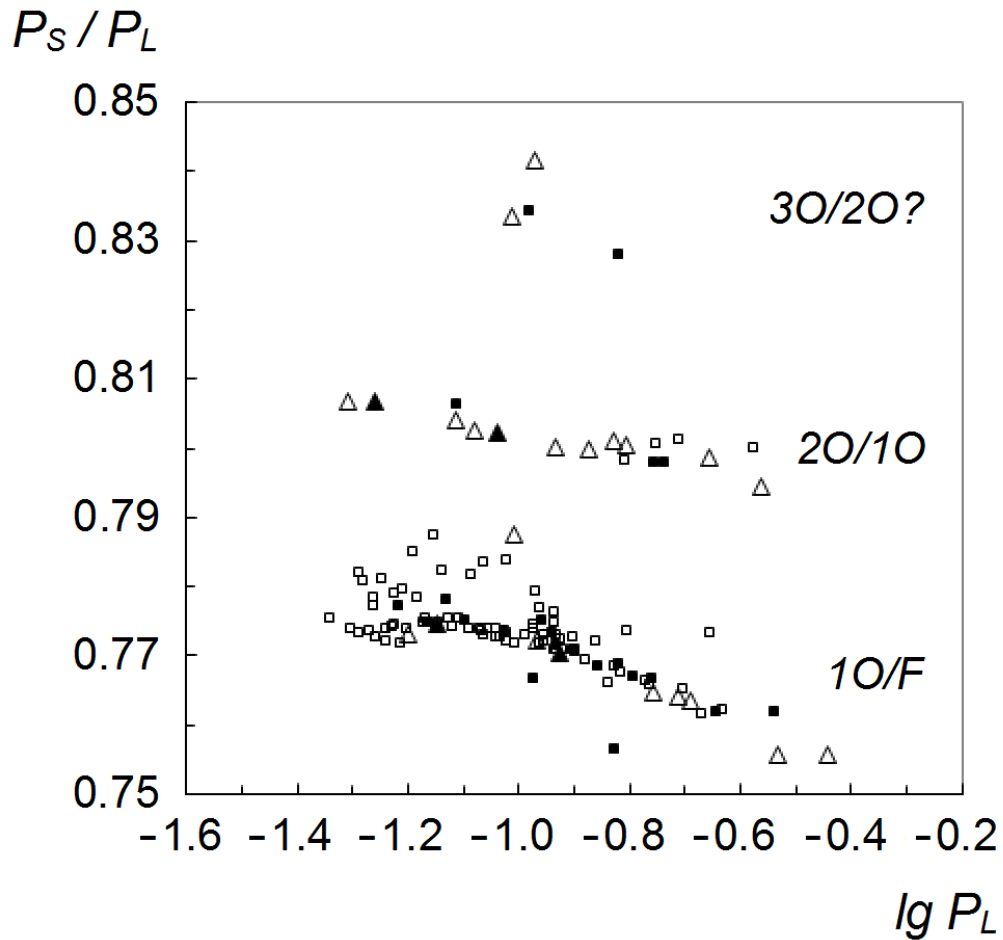


Рис. 2.9. Диаграмма Петерсена для HADS(B) звезд. Незаполненные значки – известные переменные; заполненные значки – двойная и множественная периодичность найдена автором работы; квадраты – звезды с двойной периодичностью; треугольники – мультипериодические звезды.

На этой диаграмме видно несколько последовательностей: наиболее многочисленная соответствует пульсациям в основной моде и первом обертоном (1O/F), несколько выше расположена последовательность пульсаций в первом и втором обертонах (2O/1O), ещё выше – пока только лишь

предполагаемая последовательность пульсаций во втором и третьем обертонах (3O/2O). При этом мультипериодические звезды, пульсирующие сразу в трёх (или четырёх) модах, представлены на диаграмме дважды (трижды), так как имеют два (три) независимых отношения периодов (мультипериодические переменные выделены на диаграмме треугольниками).

## 2.7 Нерадиальные пульсации у HADS-звезд

Нами были обнаружены две HADS-переменные, отношения периодов которых заметно отличались от характерных для радиальных пульсаций. Кроме того, амплитуды вторичных колебаний оказались в обоих случаях довольно малыми, значительно меньше амплитуд основных колебаний. Поэтому эти переменные были нами классифицированы как HADS-звезды с дополнительной нерадиальной модой.

### V337 Ori

Переменность V337 Ori = GSC 1320-00167 ( $\alpha = 05^{\text{h}} 59^{\text{m}} 20^{\text{s}}.58$ ,  $\delta = +20^{\circ} 02' 07''.5$ , J2000) открыта Гоффмейстером (1949), переменная была классифицирована как короткопериодическая, вероятно затменная переменная, элементы изменения блеска определены не были. Анерт (1950) относит звезду к неправильным переменным. Самусь и Антипин (2006), используя данные ASAS-3 и NSVS, отнесли переменную к звездам типа  $\delta$  Щита высокой амплитуды (HADS), были даны следующие элементы:

$$\text{JD}(\text{max}) = 2453068.586 + 0^{\text{d}}.201261 \times E.$$

В ОКПЗ позднее элементы изменения блеска были несколько уточнены:

$$\text{JD}(\text{max}) = 2453068.587 + 0^{\text{d}}.2012592 \times E.$$

Нами были проанализированы повторно данные обзора ASAS-3 (ASAS 055921+2002.1), а также данные SuperWASP (1SWASP J055920.57+200207.5),

и была выявлена дополнительная мода, вероятно, соответствующая нерадиальной пульсации. Отношение периодов  $P_2/P_1 = 0.7389$ . При анализе данных SuperWASP нами были удалены ночи со значительным рассеянием точек на кривой блеска, а также явные инструментальные ошибки наблюдений; анализировался ряд данных в интервале JD2454022–2454155. Кроме того, нами выявлены также частоты взаимодействия  $f_2+f_1$  и  $f_2-f_1$ . Элементы изменения блеска приведены в таблице 2.8. Кривые блеска по данным SuperWASP приведены на рисунке 2.10.

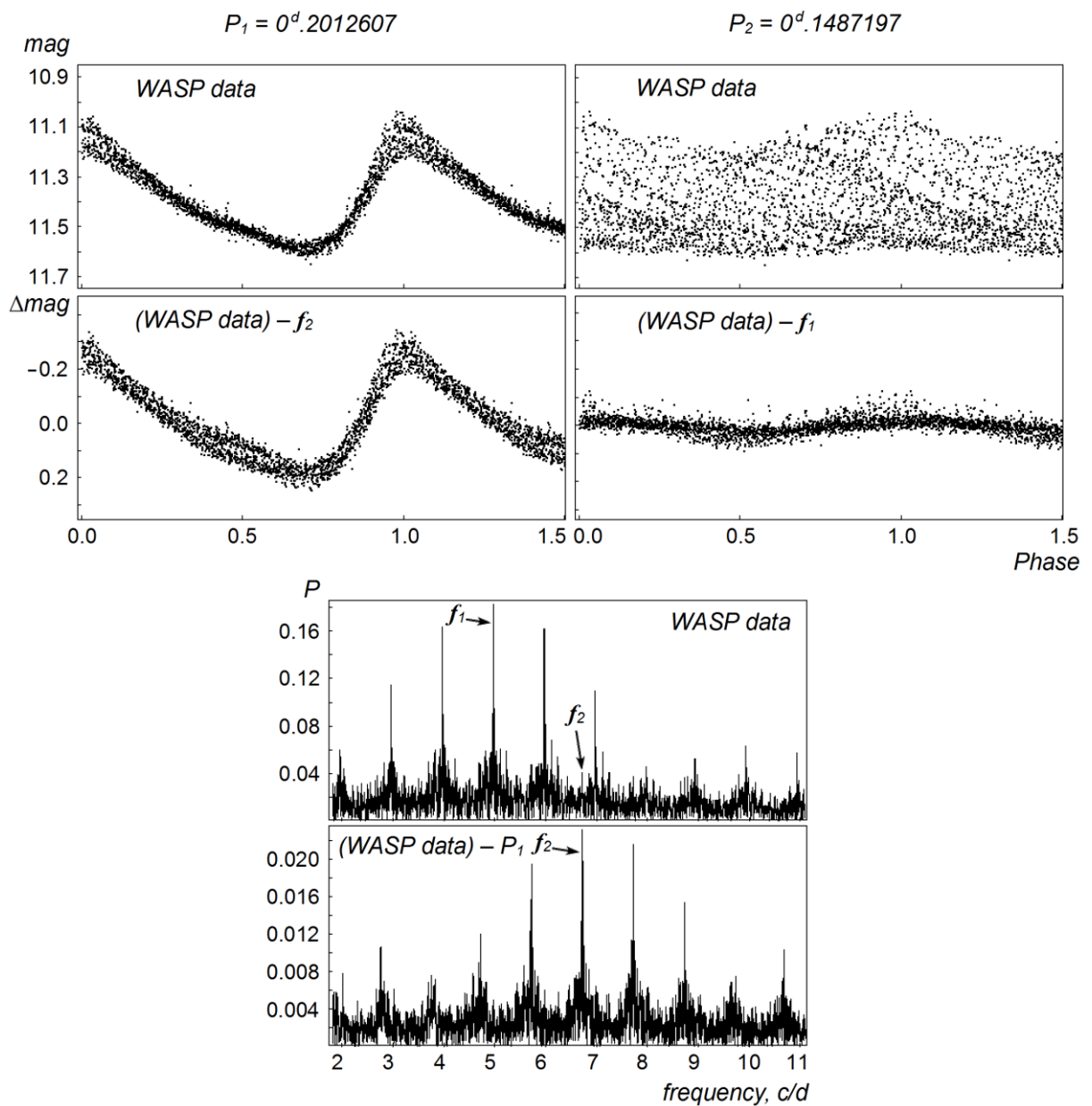


Рис. 2.10. Кривые блеска и спектры мощности V337 Ori (по данным 1SWASP).

Блеск переменной меняется в пределах  $10^m.85 - 11^m.45$  ( $V$ , ASAS). Галактическая широта  $b = -1^0.8$ . Также возможно существование нескольких слабых нерадиальных частот:  $f = 7.6173$  цикл/сут. ( $P = 0.13128$  сут.),  $f = 6.6908$  цикл/сут. ( $P = 0.14946$  сут.) и  $f = 17.663$  цикл/сут. ( $P = 0.056615$  сут.).

Таблица 2.8. Элементы изменения блеска V337 Ori.

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда, mag		Период, сут.	Эпоха, JD
		V (ASAS-3)	1SWASP		
$f_1$	4.968680	0.229	0.220	0.2012607	2454098.634
$f_2$	6.724059	0.024	0.030	0.1487197	2454098.637
$f_2+f_1$	11.693	–	0.013	0.085523	2454098.632
$f_2-f_1$	1.75509	–	0.011	0.56977	2454098.605

Результат опубликован в нашей статье [15].

### TYC 7805 00075 1

Переменность TYC 7805 00075 1 ( $\alpha = 14^h 28^m 21^s.58$ ,  $\delta = -38^0 12' 14''.5$ , J2000) была открыта Поймански (2002), обзор ASAS-3. В каталоге ASAS-3 переменная была классифицирована как звезда типа  $\delta$  Щита с элементами изменения блеска

$$HJD(\max) = 2451903.31 + 0^d.166993 \times E.$$

Нами были проанализированы повторно данные обзора ASAS-3, а также данные SuperWASP, и была выявлена дополнительная нерадиальная мода. Отношение периодов  $P_2/P_1 = 0.6173$ .

Данные SuperWASP анализировались в интервале JD2454148 – 2454274. Элементы изменения блеска TYC 7805 00075 1 приведены в таблице 2.9. Кривая блеска по данным SuperWASP приведена на рисунке 2.11.

Таблица 2.9. Элементы изменения блеска TYC 7805 00075 1.

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда, mag		Период, сут.	Эпоха, JD
		V (ASAS-3)	1SWASP		
$f_1$	5.988124	0.078	0.081	0.1669972	2455200.003
$f_2$	9.69979	0.007	0.007	0.103095	2455200.067

Блеск переменной меняется в пределах  $9^m.89 - 10^m.09$  (WASP),  $9^m.66 - 9^m.89$  (V, ASAS). Показатели цвета  $B-V = 0.411$  (Tycho2),  $J-K = 0.174$  (2MASS). Галактическая широта  $b = +20^{\circ}.8$ . Также возможно существование нескольких слабых нерадиальных пульсаций с периодами 0.0997346 сут., 0.1822313 сут., 0.0995966 сут.

Результат опубликован в статье [30].

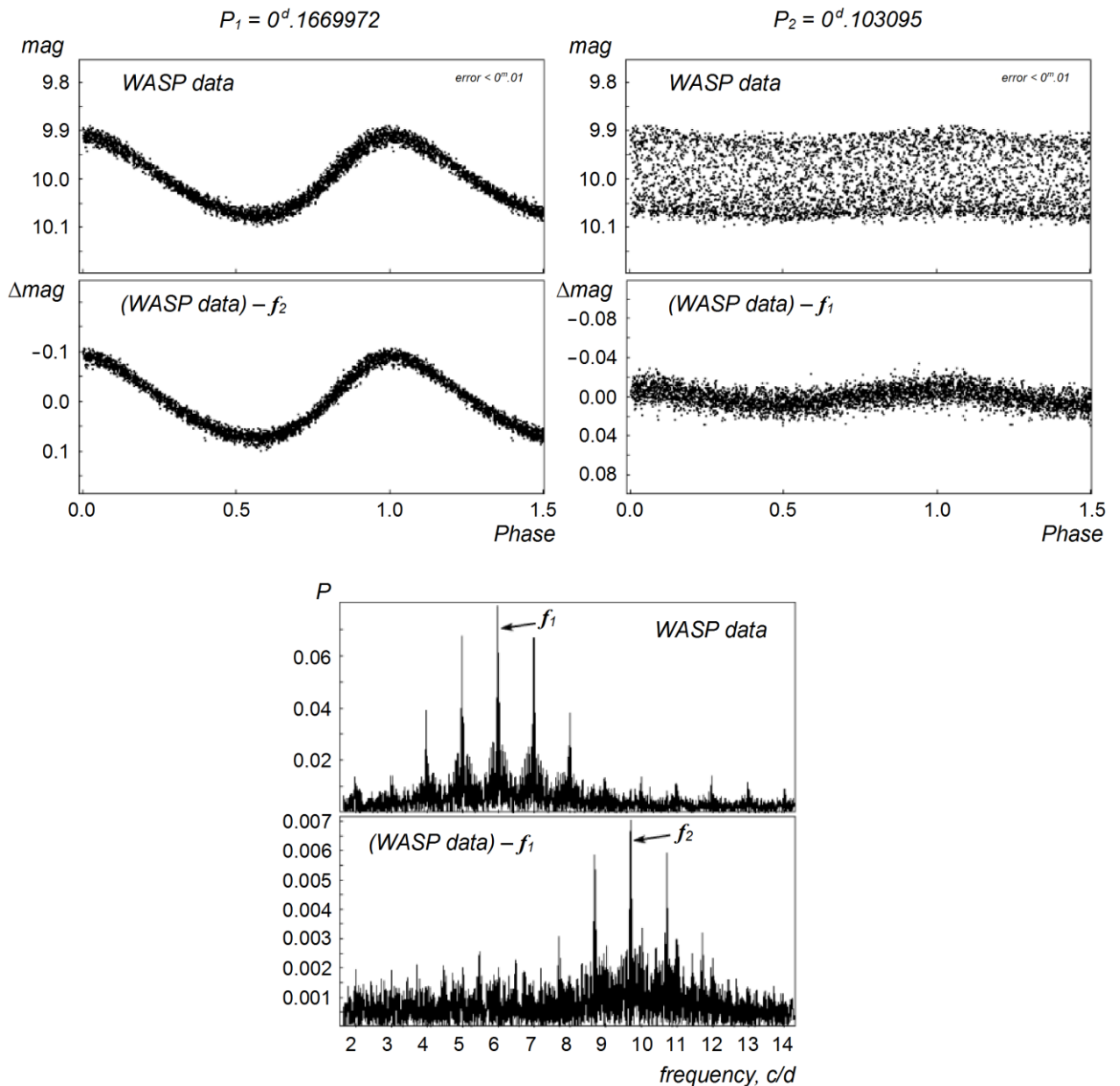


Рис. 2.11. Кривые блеска и спектры мощности TYC 7805 00075 1 (по наблюдениям 1SWASP).

Для обеих звезд нельзя полностью исключить то, что вторичное колебание может быть радиальной модой. Отношение периодов V337 Ori ( $P_2/P_1 = 0.7389$ ) близко к характерному для основной моды и первого обертона. Отношение периодов TYC 7805 00075 1 ( $P_2/P_1 = 0.6173$ ) практически соответствует характерному для пульсаций в основной моде и втором обертоном (около 0.61).

Кроме того, в последнее время был обнаружен ряд переменных типа RR Лиры со слабыми вторичными пульсациями, для которых отношение вторичного периода к основному (чаще всего первый обертон) близко к 0.61. Вторичные частоты этих звезд зачастую так и обозначают:  $f_{0.61}$ . Юрчик и др. (2015) нашли 18 таких переменных среди звезд типа RR Лиры шарового скопления M3, их отношение периодов  $P_{0.61} / P_1$  находится в пределах 0.612 – 0.623. Чен и др. (2013) выделяют несколько подобных звезд типа RR Лиры в Большом Магеллановом Облаке, а также дают сводку таких объектов в Галактике ( $P_{0.61} / P_1$  в пределах 0.57 – 0.62), рассматривая их как пульсирующие в основной моде и втором обертоном (обозначение RR02), хотя, вероятно, это не всегда оправдано. Не исключено, что TYC 7805 00075 1 следует рассматривать как предельный случай RRC-звезды со вторичной пульсацией  $f_{0.61}$ .

## 2.8 Мультипериодические звезды типа $\delta$ Щита, DSCTC

Вероятно, у большинства звезд типа  $\delta$  Щита малых амплитуд (DSCTC) существует явление мультипериодичности. При этом возбуждено несколько (две и более) нерадиальных мод с близкими частотами.

При поиске радиально пульсирующих звезд типа  $\delta$  Щита с двойной периодичностью в данных обзора ASAS-3 нами была обнаружена мультипериодичность десяти DSCTC-звезд. Результаты представлены в таблице 2.10. В таблице даны координаты на эпоху 2000.0, обозначения по каталогам Tycho2 и NSV, звездная величина в полосе V, найденные периоды

нерадиальных пульсаций. В последнем столбце периоды даны в порядке уменьшения амплитуды. Отношения периодов от 0.99 до 0.85, полные амплитуды изменения блеска от 0<sup>m</sup>.14 (№1) до 0<sup>m</sup>.30 (№2).

Результат опубликован в нашей статье [10].

Таблица 2.10. Мультипериодические DSCT звезды.

№	Координаты (J2000)	Обозначение	V mag	Периоды, сут.
1	09 04 45.95, -56 25 03.5	V0528 Vel	9.56 – 9.70	0.1754402, 0.1702168, 0.1794528, 0.1084796
2	09 14 55.63, -64 01 33.0	V0846 Car	10.71 – 11.01	0.1541944, 0.1488056, 0.1512971
3	09 46 23.30, -39 56 56.8	CH Ant	9.68 – 9.83	0.1523648, 0.1605407, 0.1542710, 0.1428950
4	09 52 19.96, -54 14 29.9	V0540 Vel	10.23 – 10.41	0.1689416, 0.1765777
5	10 57 19.15, -50 57 52.4	V0548 Vel	11.05 – 11.27	0.0487985, 0.0482189
6	15 44 58.70, -62 36 55.6	V0348 TrA	10.87 – 11.08	0.1301318, 0.1224057
7	17 10 21.96, -54 15 04.7	V0952 Ara	10.20 – 10.40	0.1091280, 0.1067346, 0.1092008, 0.1092738, 0.0649199
8	18 48 06.96, -35 13 42.3	V5833 Sgr	11.14 – 11.36	0.1371452, 0.1345604
9	19 22 26.27, -22 34 42.5	V5837 Sgr	9.42 – 9.61	0.1775066, 0.1891534, 0.2069768, 0.1839006, 0.192725
10	20 11 38.88, +16 06 27.9	V1889 Aql	8.93 – 9.12	0.0980262, 0.1004498

### ПЗС-наблюдения DSCTC-звезд

Нами была обнаружена переменность трёх новых переменных типа DSCTC, проведены ПЗС-наблюдения этих звезд, найдены периоды изменения блеска каждой пульсационной моды.

Для двух переменных, V1277 Cas и V1280 Cas (соавтор открытия переменности В. С. Козырева), была выполнена одноцветная фотометрия в полосе V фотометрической системы Джонсона. При наблюдениях использовались два инструмента: телескоп системы Ричи-Кретьена (диаметр 360 мм) и Zeiss-1000 (Восточный). Результаты были опубликованы в работе [29].

Для ещё одной переменной, USNO-B1.0 1465-0053628, была выполнена трёхцветная фотометрия в полосах B, V и R системы Джонсона. Переменность этой звезды была обнаружена автором по ПЗС наблюдениям при поиске новых переменных в окрестностях цефеиды с двойной периодичностью V470 Cas.



## V1277 Cas

Наблюдения V1277 Cas = USNO-B1.0 1495-0051755 ( $\alpha = 01^{\text{h}} 31^{\text{m}} 57^{\text{s}}.89$ ,  $\delta = +59^{\circ} 30' 14''.2$ , J2000.0) выполнены в промежуток времени JD 2456233 – 2456573. В качестве звезды сравнения была выбрана GSC 3682-01371 ( $V = 12^{\text{m}}.244$ , APASS), в качестве контрольной звезды выбрана TYC 3682 837 1.

Блеск переменной меняется в пределах  $13^{\text{m}}.23 - 13^{\text{m}}.30$  ( $V$ ), найдены две устойчивые моды пульсаций. Элементы изменения блеска приведены в таблице 2.11. Кривая блеска приведена на рисунке 2.12.

Таблица 2.11. Элементы изменения блеска V1277 Cas.

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда, V mag	Период, сут.	Эпоха, HJD
$f_1$	13.93656	0.0132 (0.0191)	0.0717537	2456500.0376
$f_2$	11.40268	0.0078 (0.0053)	0.0876987	2456500.0873

В скобках указана амплитуда по наблюдениям на 360-мм телескопе, вне скобок – на 1000 мм телескопе. Отношение периодов  $P_1/P_2 = 0.8182$ . Показатели цвета  $J-K = 0.353$  (2MASS),  $B-V = 0.740$  (APASS).

## V1280 Cas

Наблюдения V1280 Cas = TYC 3682 1407 1 ( $\alpha = 01^{\text{h}} 32^{\text{m}} 09^{\text{s}}.72$ ,  $\delta = +59^{\circ} 28' 00''.7$ , J2000.0) были проведены в том же интервале времени, использованы те же звезда сравнения и контрольная звезда. Переменная меняет блеск в пределах  $12^{\text{m}}.09 - 12^{\text{m}}.17$  ( $V$ ). Найдено четыре моды пульсаций, сведения о которых приведены в таблице 2.12. Кривая блеска приведена на рисунке 2.13.

Для анализа использовались комбинированные данные, полученные с обоих телескопов. Показатели цвета:  $J-K = 0.317$  (2MASS),  $B-V = 0.660$  (APASS),  $B-V = 0.740$  (Tycho2).

Таблица 2.12. Элементы изменения блеска V1280 Cas.

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда, V mag	Период, сут.	Эпоха, HJD
$f_1$	7.63983	0.0130	0.130893	2456300.030
$f_2$	8.14445	0.0077	0.122783	2456300.025
$f_3$	8.94438	0.0065	0.111802	2456300.061
$f_4$	5.23262	0.0080:	0.191109	2456300.120

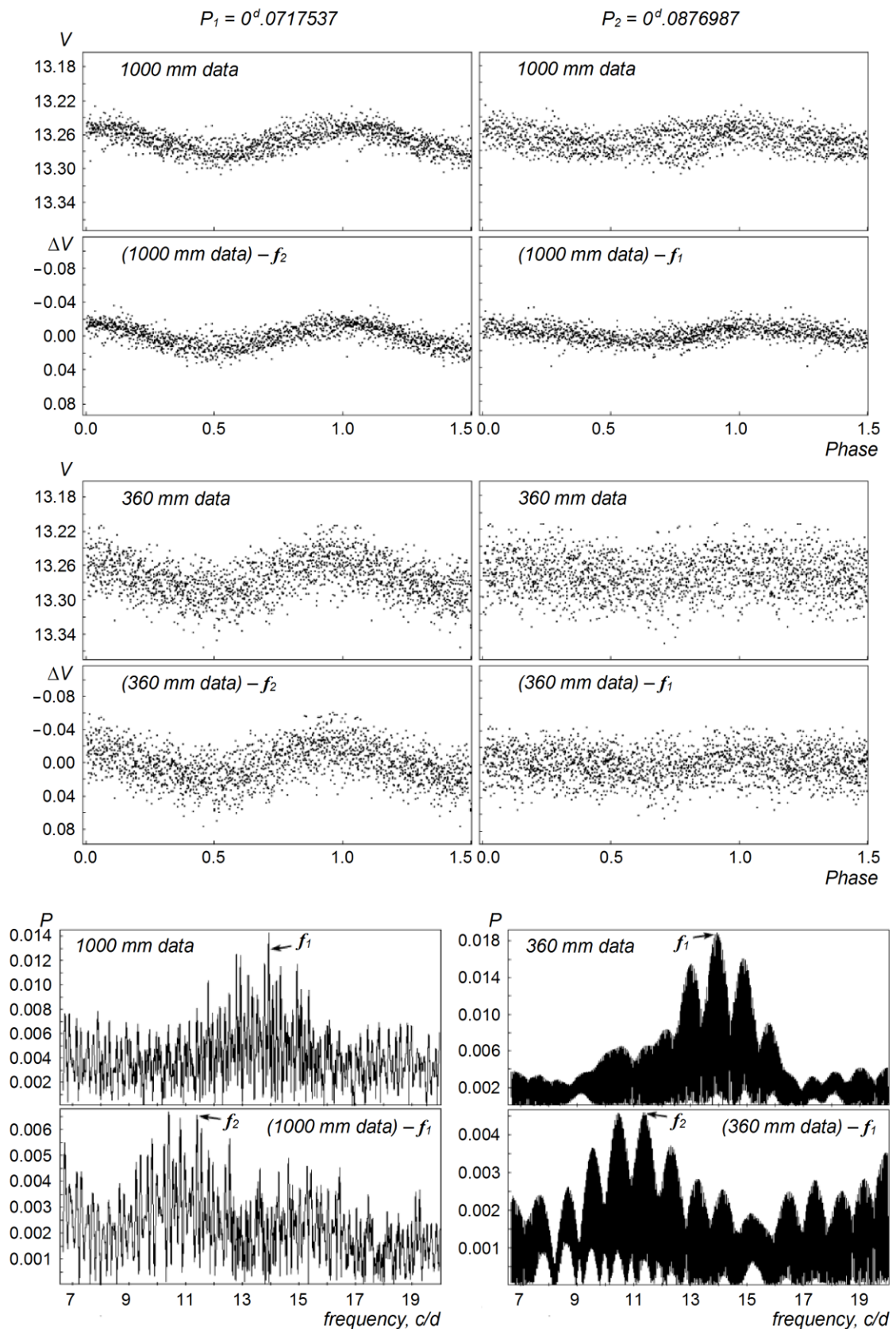


Рис. 2.12. Кривые блеска и спектры мощности V1277 Cas. Вверху даны кривые блеска по данным 1000-мм телескопа, ниже – по данным 360-мм телескопа. Внизу показаны спектры мощности для наблюдений с соответствующими инструментами.

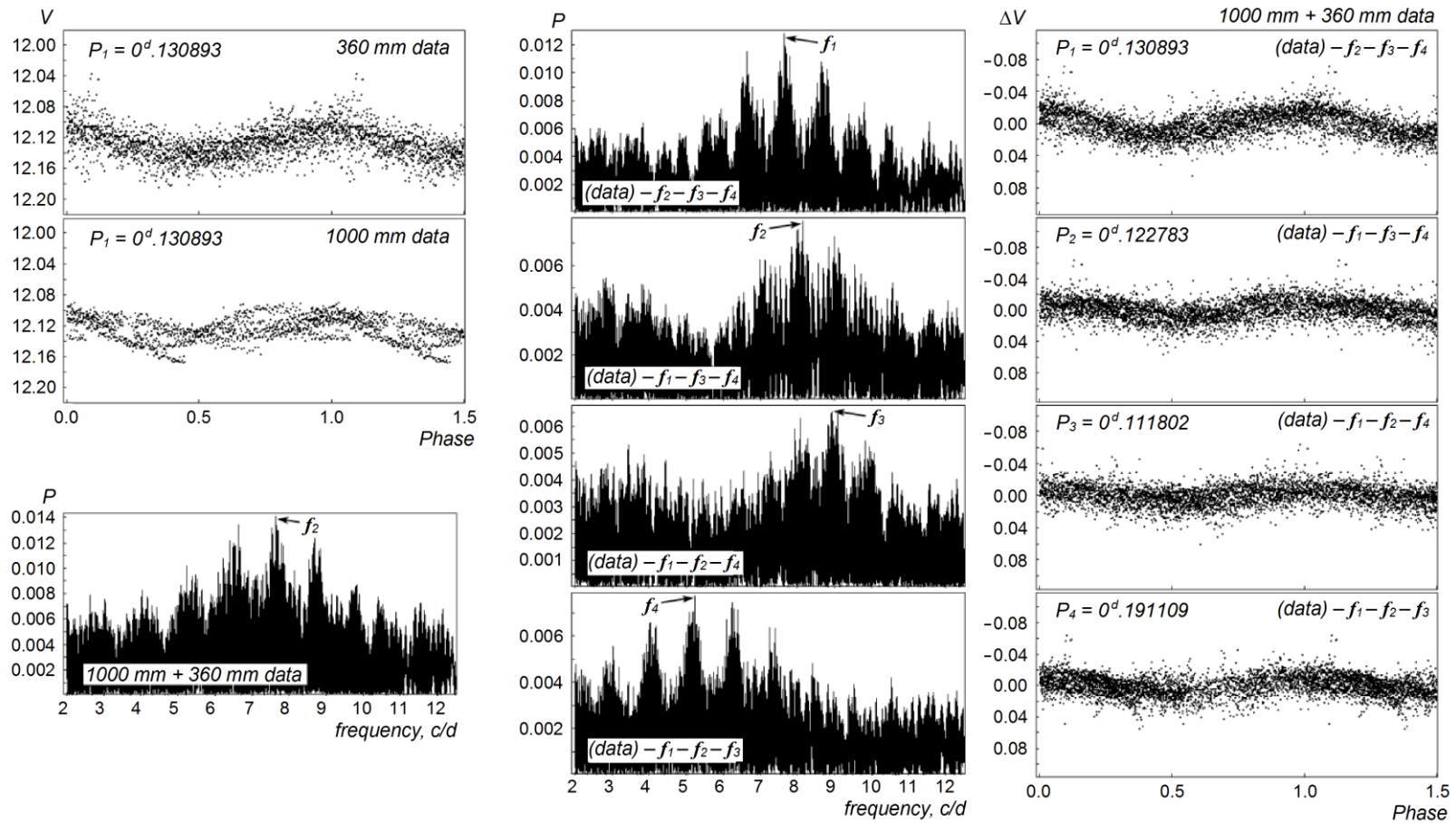


Рис. 2.13. Кривые блеска и спектры мощности V1280 Cas. Слева даны кривые блеска с основным периодом отдельно для данных с 360-мм и 1000-мм телескопов, ниже которых приведен спектр мощности для комбинированных данных с двух телескопов. Справа – спектры мощности четырёх выделенных колебаний и соответствующие им кривые блеска (комбинированные данные).

## USNO-B1.0 1465-0053628

Наблюдения переменной USNO-B1.0 1465-0053628 ( $\alpha = 01^{\text{h}} 32^{\text{m}} 25^{\text{s}}.82$ ,  $\delta = +56^{\circ} 35' 40''.0$ , J2000.0) были выполнены в интервале JD 2456575 – 2456676. В качестве звезды сравнения была выбрана GSC 3678-01270 ( $V = 13^{\text{m}}.685$ ,  $B = 14^{\text{m}}.542$ , APASS), в качестве контрольной звезды выбрана USNO-B1.0 1465-0053542.

Нами получены следующие пределы изменения блеска:  $12^{\text{m}}.99 - 13^{\text{m}}.02$  в полосе  $V$ ,  $13^{\text{m}}.58 - 13^{\text{m}}.62$  в полосе  $B$ , полная амплитуда в полосе  $R$  составляет  $0^{\text{m}}.025$ . Обнаружена двойная периодичность, характерная для звезд типа  $\delta$  Щита с нерадиальными пульсациями.

Элементы изменения блеска приведены в таблице 2.13. Кривые блеска переменной приведены на рисунке 2.14.

Таблица 2.13. Элементы изменения блеска USNO-B1.0 1465-0053628

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда, mag			Период, сут.	Эпоха, HJD
		$B$	$V$	$R$		
$f_1$	14.8456	0.0070	0.0059	0.0054	0.067360	2456630.057
$f_2$	10.8604	0.0076	0.0053	0.0040	0.092078	2456630.037

Отношение периодов  $P_1/P_2 = 0.7316$ .

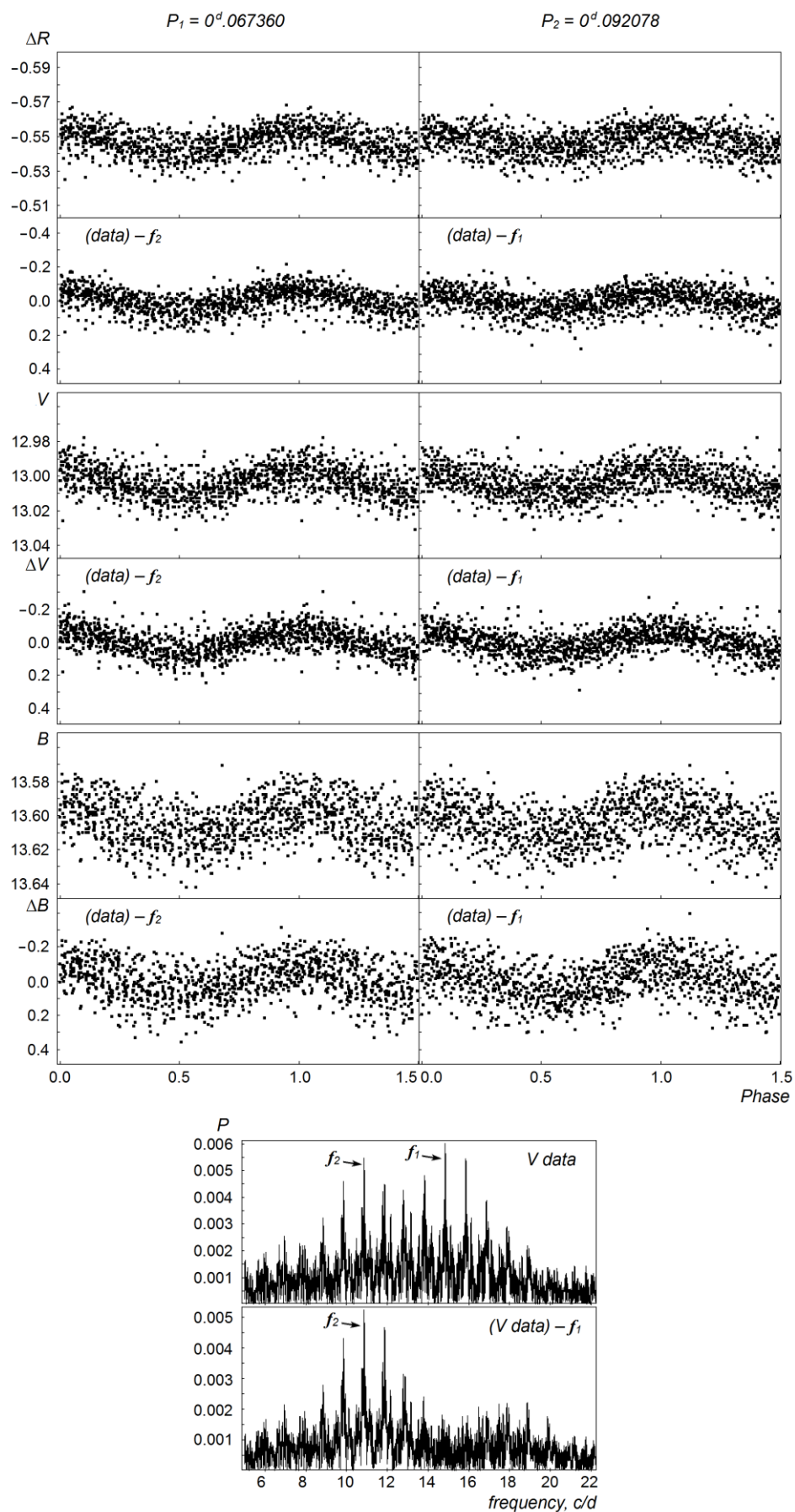


Рис. 2.14. Кривые блеска USNO-B1.0 1465-0053628 в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$ . Спектры мощности приведены для полосы  $V$ .

### Глава 3. Звезды типа RR Лиры с двойной и множественной периодичностью.

Долгое время случаи двойной периодичности были известны главным образом среди звезд типа RR Лиры, являющихся членами шаровых звездных скоплений. Вероятно, первой из таких звезд в шаровых скоплениях была открыта V68 в M3 (Горанский 1981). Смит (1995) приводит сводку известных на тот момент переменных типа RR Лиры с двойной периодичностью по отдельным скоплениям (в скобках указано число таких переменных в скоплении): M3 (2), M5 (12), M68 (9), IC4499 (13), NGC2419 (1), NGC6426 (1); также указано число таких звезд в карликовой сфероидальной галактике в Драконе (10). Ежикевич и Венцель (1977) открыли двойную периодичность AQ Leo, которая более десятилетия оставалась единственной (не считая AC And) известной звездой типа RR Лиры с двойной периодичностью галактического поля. Только Клеман и др. (1991) была обнаружена двойная периодичность еще двух звезд поля, позднее обозначенных в ОКПЗ как EM Dra и EN Dra. До конца XX века было найдено еще две звезды типа RR Лиры с двойной периодичностью: V2493 Oph (Гарсиа-Мелендо 1997) и CU Com (Клементини и др. 2000). Таким образом, к началу нового столетия таких звезд было известно всего пять. Черешнеш (2001) при фотографическом исследовании областей в созвездии Стрельца нашел двойную периодичность 53 звезд типа RR Лиры, из которых 40 отнесены к звездам карликовой галактике в Стрельце, а 13 – к звездам Галактики.

В следующее десятилетие звезды типа RR Лиры с двойной периодичностью стали открывать систематически благодаря появлению автоматических фотометрических обзоров неба. Некоторое количество таких переменных было обнаружено в ходе осуществления проектов ASAS-3 (Щигель и Фабрички 2007), а также обзора NSVS (Вилс и др. 2006), но значительно большее их число было обнаружено отдельными

исследователями, использовавшими данные этих обзоров (включая и автора диссертации).

В самое последнее время с появлением автоматических обзоров, использующих значительно бóльшие телескопы, переменные типа RR Лиры с двойной периодичностью стали обнаруживать массово. Обзором OGLE-IV при наблюдениях области балджа Галактики были выявлены 174 переменные этого типа (Сошински и др. 2014b). Полески (2014) обнаружено несколько десятков таких звезд по данным LINEAR. В Каталоге периодических переменных звезд обзора Catalina (Дрейк и др. 2014) к типу звезд RR Лиры с двойной периодичностью отнесены 502 переменные, но позже оказалось, что в действительности лишь 165 из них можно с уверенностью отнести к этому типу (Молнар и др. 2015), при этом и среди последних есть небольшая часть уже известных ранее звезд с двойной периодичностью.

### **3.1. Звезды типа RR Лиры основной моды и первого обертона, F/10**

Практически все известные на сегодняшний день RR(B)-переменные пульсируют в основной моде и первом обертоне и имеют отношения периодов  $P_1/P_0$  в пределах 0.74 – 0.75. В большинстве случаев амплитуда пульсаций первого обертона заметно превосходит амплитуду основной моды, достаточно часты случаи, когда амплитуды почти равны (но всё же первый обертон доминирует), значительно меньше – когда амплитуда основной моды чуть превышает амплитуду первого обертона, и известны лишь считанные единицы RR(B)-звезд, у которых амплитуда основной моды значительно больше амплитуды первого обертона.

Несколько звезд с периодами, характерными для звезд типа RR Лиры, пульсируют в первом и втором обертонах,  $P_2/P_1 = 0.80$ , но мы относим их к цефеидам с двойной периодичностью из-за расположения вблизи плоскости Галактики и большого сходства с цефеидами с двойной периодичностью Большого и Малого Магеллановых Облаков, находящимися в том же

интервале периодов. Звезды поля, пульсирующие одновременно в первом и втором обертонах и имеющие периоды характерные для звезд типа RR Лиры, на больших расстояниях от галактической плоскости не известны.

В Общем каталоге переменных звезд (Самусь и др. 2007 – 2015) для звезд типа RR Лиры с двойной периодичностью введено обозначение типа RR(B). В мировой литературе достаточно часто эти звезды обозначают как RRd (продолжая классификацию RRab, RRc). Иногда встречается обозначение RR01, когда основной моде соответствует цифра 0, а первому обертону – 1 (тогда RRAB = RR0, RRC = RR1).

Нами на протяжении нескольких лет (с 2007 года) проводился поиск двойной периодичности звезд типа RR Лиры по различным электронным архивам. За последние несколько лет удалось значительно увеличить число RR(B) переменных, используя данные обзора Catalina Surveys, при этом проверялись главным образом звезды типа RRC с заметным рассеянием точек на кривой блеска, как известные ранее, так и включенные в недавно опубликованный Каталог периодических переменных звезд обзора Catalina (Дрейк и др. 2014). Всего нами найдена двойная периодичность 235 звезд типа RR Лиры. Найденные нами RR(B) переменные находятся в интервале звездных величин  $12^m.8 - 19^m.4$ . Выделенные нами 235 случаев двойной периодичности составляют 36 процентов от известных на сегодняшний день звезд типа RR(B) поля Галактики.

Результаты представлены в таблице 3.1. В таблице даны координаты на эпоху 2000.0, обозначения по каталогам ОКПЗ, USNO-B1.0, USNO-A2.0 и GSC, звездная величина, период пульсации в первом обертоне ( $P_1$ ) и в основной моде ( $P_0$ ), отношение периодов ( $P_1/P_0$ ), буквенная ссылка на данные (A – ASAS, C – CSS, L – LINEAR, M – MLS, N – NSVS, S – SSS, W – WASP) и ссылка на публикацию (звездочкой отмечены публикации в соавторстве).



Таблица 3.1. Переменные типа RR(B), F/IO.

No.	Координаты (2000)	Обозначение	mag	P <sub>1</sub> , сут.	P <sub>0</sub> , сут.	P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	Данные	Публ.
1	00 <sup>h</sup> 04 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> .61 –09° 03' 52".4	USNO-B1.0 0809-0000584	18.1 – 19.0 (CV)	0.421132	0.564845	0.7456	C	[37]
2	00 20 37.88 +31 29 06.3	USNO-B1.0 1214-0005810	17.21 – 17.87 (CV)	0.399297	0.534895	0.7465	C	[37]
3	00 33 16.96 +26 31 23.8	USNO-B1.0 1165-0007273	16.88 – 17.54 (CV)	0.404883	0.542396	0.7465	C	[37]
4	00 39 38.38 +30 09 40.8	USNO-B1.0 1201-0009113	16.91 – 17.67 (CV)	0.395196	0.529664	0.7461	C	[34]
5	01 29 26.85 +38 33 37.6	USNO-B1.0 1285-0024230	16.84 – 17.69 (CV)	0.350161	0.470490	0.7442	C	[37]
6	01 44 54.14 –14 36 43.1	USNO-B1.0 0753-0017279	16.65 – 17.52 (CV)	0.395729	0.530534	0.7459	C	[37]
7	01 52 16.79 +24 48 30.9	USNO-B1.0 1148-0022887	18.2 – 18.8 (CV)	0.409031	0.547871	0.7466	C	[37]
8	01 53 42.59 +15 52 15.6	GSC 1206-01674	14.64 – 15.19 (CV)	0.420513	0.564048	0.7455	C	[34]
9	01 59 03.12 –04 25 28.8	USNO-B1.0 0855-0018783	17.02 – 17.62 (CV)	0.345980	0.465495	0.7433	C	[37]
10	02 09 50.37 +12 26 35.7	USNO-B1.0 1024-0026472	16.72 – 17.41 (CV)	0.366813	0.492409	0.7449	CM	[37]
11	02 10 24.13 +30 13 35.9	USNO-B1.0 1202-0027409	17.45 – 18.20 (CV)	0.417511	0.559708	0.7459	C	[37]
12	02 15 54.78 +25 34 39.6	USNO-B1.0 1155-0026482	15.71 – 16.48 (CV)	0.357769	0.480781	0.7441	C	[34]
13	02 42 27.13 +01 13 32.0	KM Cet	14.67 – 15.22 (CV)	0.405055	0.542695	0.7464	C	[21]
14	02 48 18.04 +11 12 40.5	USNO-B1.0 1012-0025337	15.94 – 16.65 (CV)	0.418642	0.561570	0.7455	C	[34]
15	03 13 25.56 +15 21 47.1	USNO-B1.0 1053-0034367	16.80 – 17.35 (CV)	0.358635	0.481500	0.7448	CM	[37]
16	05 05 36.19 –02 03 18.3	USNO-B1.0 0879-0086957	15.99 – 16.49 (CV)	0.362903	0.488575	0.7428	C	[37]
17	07 01 44.47 +63 53 02.7	USNO-B1.0 1538-0156471	15.98 – 16.57 (CV)	0.356657	0.479216	0.7443	C	[34]
18	07 25 07.59 +39 03 40.5	USNO-B1.0 1290-0175461	18.1 – 18.8 (CV)	0.414933	0.555912	0.7464	C	[37]
19	07 41 09.31 +19 19 29.5	USNO-B1.0 1093-0149635	17.30 – 17.93 (CV)	0.411855	0.551687	0.7465	CM	[37]
20	07 44 54.85 +44 29 09.6	USNO-B1.0 1344-0191047	17.8 – 18.8 (CV)	0.360108	0.482702	0.7460	C	[33]
21	07 54 12.87 +37 34 41.8	USNO-B1.0 1275-0193982	17.51 – 18.48 (CV)	0.355599	0.477799	0.7442	C	[37]
22	07 57 01.52 +30 36 32.6	USNO-B1.0 1206-0156310	17.10 – 17.94 (CV)	0.358685	0.481358	0.7452	C	[37]
23	08 01 22.22 +21 21 11.0	USNO-B1.0 1113-0165279	17.45 – 18.07 (CV)	0.354760	0.476318	0.7448	CM	[37]
24	08 04 46.10 +32 01 41.5	USNO-B1.0 1220-0181065	17.06 – 17.71 (CV)	0.403540	0.540394	0.7468	C	[37]
25	08 08 46.89 +33 54 02.5	USNO-B1.0 1239-0169052	17.38 – 18.34 (CV)	0.357387	0.480261	0.7442	C	[37]
26	08 09 35.30 +12 09 00.3	USNO-B1.0 1021-0178560	16.55 – 17.33 (CV)	0.371362	0.498566	0.7449	C	[34]
27	08 14 29.85 +31 11 15.3	USBO-B1.0 1211-0158004	16.86 – 17.60 (CV)	0.350894	0.472146	0.7432	C	[34]
28	08 16 52.42 +09 27 56.7	USNO-B1.0 0994-0170746	16.47 – 17.29 (CV)	0.358253	0.481136	0.7446	C	[34]
29	08 24 26.28 +18 42 28.7	USNO-B1.0 1087-0165074	16.51 – 17.38 (CV)	0.376512	0.505835	0.7443	CM	[34]
30	08 36 57.74 –04 52 54.0	USNO-B1.0 0851-0183152	16.65 – 17.37 (CV)	0.347875	0.467934	0.7434	C	[37]
31	08 39 39.34 –05 05 00.4	USNO-B1.0 0849-0184619	14.76 – 15.37 (CV)	0.406688	0.545078	0.7461	C	[37]
32	08 40 25.71 +05 01 05.9	USNO-B1.0 0950-0165712	16.62 – 17.25 (CV)	0.394727	0.528738	0.7465	C	[37]
33	08 45 29.36 +24 16 31.2	USNO-B1.0 1142-0160444	17.55 – 18.47 (CV)	0.359741	0.482865	0.7450	C	[34]

No.	Координаты (2000)	Обозначение	mag	P <sub>1</sub> , сут.	P <sub>0</sub> , сут.	P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	Данные	Публ.
34	08 48 38.26 +09 51 14.9	USNO-B1.0 0998-0182783	16.73 – 17.48 (CV)	0.356102	0.478487	0.7442	C	[34]
35	08 51 47.16 +07 23 53.7	MR Cnc	16.06 – 16.64 (CV)	0.400359	0.536525	0.7462	C	[21]
36	08 52 13.29 +09 32 16.1	USNO-B1.0 0995-0182765	18.1 – 19.0 (CV)	0.364073	0.489181	0.7443	C	[34]
37	08 56 43.10 +43 20 20.8	USNO-B1.0 1333-0219575	17.51 – 18.47 (CV)	0.373419	0.501434	0.7447	C	[37]
38	08 58 09.48 +36 31 21.4	USNO-B1.0 1265-0169434	16.61 – 17.44 (CV)	0.355872	0.478181	0.7442	C	[34]
39	09 00 52.18 +04 56 07.8	USNO-B1.0 0949-0168449	17.77 – 18.58 (CV)	0.416958	0.558754	0.7462	C	[37]
40	09 02 22.30 +18 33 40.1	USNO-B1.0 1085-0171850	18.3 – 19.2 (CV)	0.359383	0.483002	0.7441	C	[37]
41	09 16 37.72 +07 11 25.3	USNO-B1.0 0971-0212517	16.55 – 17.30 (CV)	0.404849	0.542956	0.7456	C	[34]
42	09 27 30.68 +11 07 38.3	LR Leo	15.70 – 16.40 (CV)	0.416359	0.557447	0.7469	C	[21]
43	09 38 03.96 +41 33 45.2	USNO-B1.0 1315-0208615	16.30 – 17.07 (CV)	0.358595	0.481662	0.7445	C	[33]
44	09 43 11.02 +16 09 53.5	USNO-B1.0 1061-0174839	16.70 – 17.49 (CV)	0.379178	0.509437	0.7443	C	[34]
45	09 50 42.03 +33 08 17.5	USNO-B1.0 1231-0218418	18.1 – 18.9 (CV)	0.367834	0.493881	0.7448	C	[37]
46	09 55 44.88 +18 23 07.8	USNO-B1.0 1083-0199119	16.54 – 17.37 (CV)	0.375307	0.503529	0.7454	C	[34]
47	09 57 25.89 +32 01 17.6	USNO-B1.0 1220-0203005	17.51 – 18.31 (CV)	0.388921	0.521624	0.7456	C	[34]
48	09 59 38.04 +43 52 45.6	USNO-B1.0 1338-0210776	16.29 – 17.11 (CV)	0.360565	0.484580	0.7441	C	[33]
49	10 02 59.61 +45 28 14.9	USNO-B1.0 1354-0216351	17.21 – 17.99 (CV)	0.360447	0.483830	0.7450	C	[37]
50	10 05 25.28 +31 49 17.2	USNO-B1.0 1218-0193508	17.70 – 18.56 (CV)	0.408334	0.547379	0.7460	C	[37]
51	10 06 44.06 +21 56 59.4	USNO-B1.0 1119-0202036	17.5 – 18.4 (CV)	0.395859	0.530969	0.7455	CM	[34]
52	10 14 00.34 +09 39 23.9	USNO-B1.0 0996-0203930	18.38 – 18.96 (CV)	0.400034	0.536083	0.7462	CM	[37]
53	10 20 40.27 +28 37 02.1	USNO-B1.0 1186-0177860	18.2 – 19.0 (CV)	0.362927	0.487467	0.7445	C	[37]
54	10 22 11.43 +45 20 03.8	USNO-B1.0 1353-0216977	17.16 – 17.97 (CV)	0.385235	0.516157	0.7464	C	[37]
55	10 23 08.54 +00 23 30.4	USNO-B1.0 0903-0190606	18.4 – 19.3 (CV)	0.354037	0.475673	0.7443	C	[34]
56	10 23 47.66 +15 59 12.3	USNO-B1.0 1059-0190499	17.3 – 18.1 (CV)	0.374572	0.502380	0.7456	C	[34]
57	10 24 57.50 +42 40 22.2	USNO-B1.0 1326-0262115	17.02 – 17.73 (CV)	0.408675	0.548171	0.7455	C	[34]
58	10 25 06.21 +30 36 08.8	USNO-B1.0 1206-0180778	16.87 – 17.51 (CV)	0.426495	0.571772	0.7459	C	[37]
59	10 26 43.71 +09 49 22.6	USNO-B1.0 0998-0202183	17.92 – 18.52 (CV)	0.419233	0.561943	0.7460	CM	[37]
60	10 29 16.53 –12 36 51.2	USNO-B1.0 0773-0284953	17.31 – 17.94 (CV)	0.331673	0.447456	0.7412	C	[37]
61	10 30 08.33 +03 36 08.4	USNO-A2.0 0900-06705094	15.12 – 15.70 (CV)	0.434417	0.581288	0.7473	C	[23]
62	10 32 22.91 –12 19 45.6	USNO-B1.0 0776-0280900	16.70 – 17.43 (CV)	0.388498	0.520738	0.7461	CS	[37]
63	10 34 06.66 +07 12 07.9	USNO-B1.0 0972-0231646	17.40 – 18.25 (CV)	0.350447	0.471002	0.7440	CM	[34]
64	10 35 59.30 +19 38 35.2	USNO-B1.0 1096-0184557	17.03 – 17.95 (CV)	0.364742	0.490181	0.7441	C	[37]
65	10 42 07.92 –02 29 56.8	USNO-B1.0 0875-0290446	17.11 – 17.91 (CV)	0.420090	0.563212	0.7459	C	[34]
66	10 43 06.16 +09 03 40.4	GSC 0839-00170	13.39 – 14.07 (CV)	0.417519	0.560076	0.7455	ACMN	[31] *
67	10 44 18.73 –03 18 50.9	USNO-B1.0 0866-0219758	16.79 – 17.68 (CV)	0.363631	0.488334	0.7446	CS	[34]
68	10 47 11.43 +25 33 02.1	USNO-B1.0 1155-0178406	18.3 – 19.1 (CV)	0.399983	0.535953	0.7463	C	[37]

No.	Координаты (2000)	Обозначение	mag	P <sub>1</sub> , сут.	P <sub>0</sub> , сут.	P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	Данные	Публ.
69	10 54 18.77 +43 40 37.8	USNO-B1.0 1336-0219968	15.26 – 15.77 (CV)	0.370794	0.497336	0.7456	C	[33]
70	10 57 31.42 +04 57 03.7	USNO-A2.0 0900-06813517	13.39 – 14.05 (CV)	0.348755	0.469265	0.7432	CM	[31] *
71	11 03 51.80 +17 36 09.9	USNO-B1.0 1076-0231367	17.58 – 18.49 (CV)	0.358410	0.481418	0.7445	C	[34]
72	11 11 09.15 +32 15 58.7	USNO-B1.0 1222-0240701	17.54 – 18.31 (CV)	0.416018	0.557528	0.7462	C	[37]
73	11 14 36.57 –16 10 46.1	USNO-B1.0 0738-0239220	15.86 – 16.65 (CV)	0.388360	0.521023	0.7454	CS	[33]
74	11 16 44.95 +23 59 28.2	USNO-B1.0 1139-0181861	17.50 – 18.44 (CV)	0.413009	0.553220	0.7466	C	[34]
75	11 19 22.51 +17 13 23.7	USNO-B1.0 1072-0234586	16.87 – 17.60 (CV)	0.364671	0.489470	0.7450	C	[34]
76	11 21 05.14 +03 30 56.0	NV Leo	16.64 – 17.45 (CV)	0.359479	0.483098	0.7441	C	[23]
77	11 25 21.23 –11 16 10.3	GSC 5512-01099	13.32 – 13.98 (CV)	0.359729	0.483101	0.7446	CNS	[33]
78	11 28 45.50 –02 16 00.7	USNO-B1.0 0877-0319036	17.2 – 18.1 (CV)	0.346374	0.465896	0.7435	C	[34]
79	11 30 22.63 +08 54 43.1	USNO-B1.0 0989-0211013	17.56 – 18.33 (CV)	0.398213	0.533747	0.7461	C	[37]
80	11 33 27.98 +22 59 21.5	USNO-B1.0 1129-0228008	16.81 – 17.62 (CV)	0.358597	0.481845	0.7442	C	[34]
81	11 33 51.94 +44 57 39.9	USNO-B1.0 1349-0226600	16.13 – 16.84 (CV)	0.353195	0.474709	0.7440	C	[33]
82	11 38 35.55 +31 57 35.7	USNO-B1.0 1219-0215416	16.56 – 17.30 (CV)	0.391787	0.524939	0.7463	C	[37]
83	11 45 17.70 +17 31 16.1	USNO-B1.0 1075-0239855	16.91 – 17.64 (CV)	0.408059	0.547015	0.7460	C	[34]
84	11 46 31.44 +13 51 59.4	USNO-B1.0 1038-0192883	17.39 – 18.33 (CV)	0.351155	0.472132	0.7438	C	[34]
85	11 59 42.56 +15 15 30.2	USNO-B1.0 1052-0209965	17.7 – 18.5 (CV)	0.403965	0.541781	0.7456	C	[37]
86	12 08 12.18 +23 21 43.2	USNO-B1.0 1133-0205495	17.64 – 18.55 (CV)	0.408103	0.547401	0.7455	C	[37]
87	12 12 50.62 –11 39 08.5	USNO-B1.0 0783-0261258	16.80 – 17.55 (CV)	0.361440	0.485546	0.7444	CS	[34]
88	12 13 08.20 +11 16 58.9	USNO-B1.0 1012-0201082	17.8 – 18.6 (CV)	0.347029	0.468035	0.7415	C	[37]
89	12 13 57.15 +45 28 57.2	USNO-B1.0 1354-0233359	16.53 – 17.15 (CV)	0.356342	0.478824	0.7442	C	[37]
90	12 17 00.51 +36 33 17.0	USNO-B1.0 1265-0198825	16.93 – 17.68 (CV)	0.414322	0.555276	0.7462	C	[37]
91	12 17 13.19 +45 47 04.3	USNO-B1.0 1357-0238053	17.48 – 18.27 (CV)	0.392543	0.526289	0.7459	C	[37]
92	12 18 03.35 +28 38 32.5	USNO-B1.0 1186-0195874	14.98 – 15.65 (CV)	0.405674	0.544233	0.7454	C	[37]
93	12 22 07.88 –12 03 16.4	USNO-B1.0 0779-0312304	15.43 – 15.96 (CV)	0.401446	0.537739	0.7465	C	[37]
94	12 24 48.76 +22 11 37.0	USNO-B1.0 1121-0241173	17.8 – 18.5 (CV)	0.365136	0.490349	0.7446	C	[37]
95	12 27 26.34 –13 00 28.3	GSC 5533-00078	15.19 – 15.75 (CV)	0.364224	0.488888	0.7450	CS	[34]
96	12 32 11.11 +12 55 57.4	USNO-B1.0 1029-0248842	17.8 – 18.6 (CV)	0.358300	0.481836	0.7436	C	[37]
97	12 38 15.56 +10 35 31.3	USNO-B1.0 1005-0208522	17.34 – 18.31 (CV)	0.370019	0.496630	0.7451	C	[34]
98	12 38 18.72 +09 04 39.9	USNO-B1.0 0990-0218788	17.9 – 18.8 (CV)	0.368182	0.494004	0.7453	C	[37]
99	12 47 46.30 +20 15 48.0	USNO-B1.0 1102-0220937	16.29 – 16.86 (CV)	0.384402	0.515253	0.7460	C	[33]
100	12 48 42.70 +15 41 34.7	USNO-B1.0 1056-0220051	18.0 – 18.8 (CV)	0.357511	0.480562	0.7439	C	[37]
101	12 49 28.95 +03 22 41.6	V630 Vir	14.68 – 15.26 (CV)	0.390832	0.524429	0.7453	C	[23]
102	12 50 17.77 +42 57 29.8	USNO-B1.0 1329-0290328	15.75 – 16.39 (CV)	0.356830	0.479250	0.7446	C	[33]
103	12 51 12.45 +01 28 08.7	USNO-B1.0 0914-0214548	18.1 – 19.0 (CV)	0.355529	0.478307	0.7433	C	[37]

No.	Координаты (2000)	Обозначение	mag	P <sub>1</sub> , сут.	P <sub>0</sub> , сут.	P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	Данные	Публ.
104	12 53 47.39 +09 43 09.1	USNO-B1.0 0997-0233324	15.66 – 16.24 (CV)	0.369046	0.495555	0.7447	C	[34]
105	12 53 50.10 +22 18 39.2	AZ Com	15.26 – 15.89 (CV)	0.399840	0.536126	0.7458	C	[21]
106	12 57 52.69 –11 55 12.2	USNO-B1.0 0780-0299594	16.54 – 17.42 (CV)	0.368106	0.494463	0.7445	C	[37]
107	13 01 37.09 +39 41 37.1	USNO-B1.0 1296-0239320	17.01 – 17.78 (CV)	0.396204	0.531760	0.7451	C	[37]
108	13 02 12.76 +17 50 21.4	USNO-B1.0 1078-0267601	18.1 – 18.9 (CV)	0.355745	0.478242	0.7439	C	[37]
109	13 03 44.72 +17 58 06.7	USNO-B1.0 1079-0259243	18.2 – 19.2 (CV)	0.361005	0.485204	0.7440	C	[37]
110	13 05 12.71 +10 28 40.4	USNO-B1.0 1004-0213772	16.33 – 17.00 (CV)	0.402831	0.539888	0.7461	C	[37]
111	13 08 47.87 +14 10 12.2	USNO-B1.0 1041-0224476	16.75 – 17.51 (CV)	0.345262	0.464667	0.7430	C	[34]
112	13 12 59.88 +37 07 02.0	USNO-B1.0 1271-0251785	16.53 – 17.22 (CV)	0.383030	0.514168	0.7450	C	[37]
113	13 13 42.53 –10 13 55.8	USNO-A2.0 0750-08069398	16.42 – 17.37 (CV)	0.348899	0.469383	0.7433	CM	[31] *
114	13 16 31.48 +03 01 03.8	USNO-B1.0 0930-0272057	17.52 – 18.46 (CV)	0.385226	0.516959	0.7452	C	[37]
115	13 16 41.33 –03 36 14.6	USNO-B1.0 0863-0260489	16.59 – 17.26 (CV)	0.417684	0.559293	0.7468	CM	[33]
116	13 19 46.77 +14 40 21.8	GSC 0897-00784	13.62 – 14.41 (CV)	0.341883	0.460448	0.7425	C	[33]
117	13 19 54.04 +29 42 22.2	GG Com	15.71 – 16.35 (CV)	0.403330	0.540765	0.7459	C	[21]
118	13 21 53.28 +09 01 31.4	USNO-B1.0 0990-0227417	17.8 – 18.7 (CV)	0.354717	0.476683	0.7441	C	[34]
119	13 23 22.11 +26 13 43.7	USNO-B1.0 1162-0217838	17.46 – 18.33 (CV)	0.354417	0.476173	0.7443	C	[34]
120	13 23 23.78 +17 55 58.4	USNO-B1.0 1079-0263747	18.1 – 18.7 (CV)	0.363665	0.488314	0.7447	C	[37]
121	13 24 55.11 –16 30 26.3	USNO-B1.0 0734-0275609	16.63 – 17.34 (CV)	0.355069	0.476846	0.7446	CS	[37]
122	13 26 11.96 +18 44 44.5	USNO-B1.0 1087-0215304	17.7 – 18.6 (CV)	0.362379	0.486854	0.7443	C	[37]
123	13 26 52.62 +03 54 45.9	USNO-B1.0 0939-0220160	18.4 – 19.4 (CV)	0.355362	0.477771	0.7438	C	[37]
124	13 28 54.88 +02 26 13.7	USNO-B1.0 0924-0299119	18.1 – 19.1 (CV)	0.361582	0.486191	0.7437	C	[37]
125	13 29 00.42 +34 12 42.7	USNO-B1.0 1242-0208316	17.32 – 18.04 (CV)	0.382442	0.513224	0.7452	C	[37]
126	13 31 05.94 +05 23 08.1	USNO-B1.0 0953-0222397	18.3 – 19.3 (CV)	0.359335	0.483093	0.7438	C	[37]
127	13 31 16.06 +03 34 07.4	V644 Vir	13.68 – 14.46 (CV)	0.338596	0.455977	0.7426	C	[23]
128	13 36 50.22 –11 43 41.9	USNO-B1.0 0782-0288807	15.31 – 15.87 (CV)	0.406438	0.545077	0.7457	C	[37]
129	13 47 01.78 +20 56 59.1	USNO-B1.0 1109-0222909	18.4 – 19.3 (CV)	0.398304	0.534137	0.7457	C	[37]
130	13 55 12.46 +09 46 09.7	USNO-B1.0 0997-0244706	18.2 – 19.2 (CV)	0.351159	0.472061	0.7439	C	[37]
131	13 56 45.27 +26 06 41.0	USNO-B1.0 1161-0225607	16.18 – 16.76 (CV)	0.397031	0.532235	0.7460	C	[33]
132	13 58 22.80 +09 13 28.5	USNO-B1.0 0992-0233889	18.6 – 19.3 (CV)	0.414543	0.555941	0.7457	C	[37]
133	14 07 02.42 +10 26 24.5	USNO-B1.0 1004-0225325	18.0 – 18.8 (CV)	0.393298	0.527220	0.7460	C	[37]
134	14 20 22.40 +03 06 51.9	V659 Vir	14.29 – 14.94 (CV)	0.376821	0.505828	0.7450	C	[23]
135	14 21 54.04 –32 06 41.5	V722 Cen	15.97 – 16.91 (CV)	0.340534	0.458621	0.7425	C	[26] *
136	14 21 58.72 +34 27 24.4	USNO-B1.0 1244-0215132	16.16 – 16.78 (CV)	0.356490	0.478545	0.7449	C	[34]
137	14 24 54.23 +11 47 45.2	USNO-B1.0 1017-0252244	15.56 – 16.38 (CV)	0.345662	0.465042	0.7433	C	[33]
138	14 25 47.22 +22 10 08.6	USNO-B1.0 1121-0267760	15.74 – 16.35 (CV)	0.400452	0.536540	0.7464	C	[33]

No.	Координаты (2000)	Обозначение	mag	P <sub>1</sub> , сут.	P <sub>0</sub> , сут.	P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	Данные	Публ.
139	14 29 54.68 +00 18 23.4	USNO-B1.0 0903-0233031	17.86 – 18.72 (CV)	0.343379	0.462283	0.7428	C	[37]
140	14 31 50.38 +17 57 21.4	USNO-B1.0 1079-0279998	18.2 – 19.2 (CV)	0.376845	0.506502	0.7440	C	[37]
141	14 33 52.88 +02 08 00.0	USNO-B1.0 0921-0311410	17.50 – 18.35 (CV)	0.407487	0.545647	0.7468	C	[37]
142	14 34 33.44 +01 02 08.3	USNO-B1.0 0910-0235484	18.3 – 19.4 (CV)	0.361391	0.485785	0.7439	C	[37]
143	14 34 54.04 +27 09 36.1	USNO-B1.0 1171-0267245	17.66 – 18.62 (CV)	0.367091	0.492554	0.7453	C	[37]
144	14 36 49.56 +32 39 50.8	USNO-B1.0 1226-0288064	15.18 – 15.95 (CV)	0.367380	0.493517	0.7444	C	[33]
145	14 39 29.75 –33 51 27.2	V1360 Cen	13.08 – 13.75 (CV)	0.344258	0.463072	0.7434	ASW	[31] *
146	14 40 18.08 +20 01 32.0	USNO-B1.0 1100-0231107	16.13 – 16.74 (CV)	0.421213	0.564890	0.7457	C	[33]
147	14 44 01.00 +34 02 43.6	USNO-B1.0 1240-0222201	16.59 – 17.42 (CV)	0.407076	0.546206	0.7453	C	[34]
148	14 53 55.16 +39 32 21.1	USNO-B1.0 1295-0254008	15.47 – 16.05 (CV)	0.354990	0.476987	0.7442	C	[33]
149	14 58 11.76 +25 26 32.0	USNO-B1.0 1154-0221420	17.28 – 18.16 (CV)	0.359613	0.483115	0.7444	C	[37]
150	15 03 58.26 +34 46 47.4	USNO-B1.0 1247-0222564	17.02 – 17.87 (CV)	0.357291	0.480226	0.7440	C	[34]
151	15 07 40.60 +12 41 42.9	GSC 0925-00503	13.26 – 13.83 (CV)	0.411890	0.552367	0.7457	ACN	[31] *
152	15 08 17.61 +06 32 13.2	USNO-B1.0 0965-0243978	16.82 – 17.46 (CV)	0.411982	0.552328	0.7459	C	[34]
153	15 13 07.59 +12 08 03.6	GSC 0923-00144	13.69 – 14.28 (CV)	0.404023	0.541556	0.7460	C	[33]
154	15 37 19.92 –18 00 56.7	V368 Lib	14.20 – 14.73 (CV)	0.430620	0.578570	0.7443	C	[26] *
155	15 42 01.65 –04 21 50.6	USNO-B1.0 0856-0273425	16.64 – 17.32 (CV)	0.405830	0.544401	0.7455	C	[37]
156	15 46 19.18 +36 34 05.2	USNO-B1.0 1265-0234869	15.63 – 16.25 (CV)	0.413934	0.554870	0.7460	C	[33]
157	15 49 16.84 +42 24 24.3	USNO-B1.0 1324-0325203	16.31 – 16.86 (CV)	0.408647	0.547662	0.7462	C	[37]
158	15 49 41.38 +13 59 35.6	USNO-B1.0 1039-0242114	15.96 – 16.61 (CV)	0.444237	0.596277	0.7450	C	[33]
159	15 49 51.12 +29 31 27.3	USNO-B1.0 1195-0237751	18.1 – 19.0 (CV)	0.401963	0.539078	0.7456	C	[37]
160	15 51 56.61 –18 03 19.2	USNO-A2.0 0675-14795162	16.20 – 17.12 (CV)	0.359788	0.483137	0.7447	CMS	[31] *
161	15 54 04.37 +18 51 20.6	USNO-B1.0 1088-0244594	15.75 – 16.29 (CV)	0.358319	0.481733	0.7438	C	[33]
162	16 01 28.46 +28 15 53.4	USNO-B1.0 1182-0267691	15.04 – 15.62 (CV)	0.41169	0.55155	0.7464	C	[33]
163	16 01 39.89 +03 25 58.9	V575 Ser	15.11 – 15.71 (CV)	0.356377	0.478615	0.7446	C	[21]
164	16 05 31.22 +29 56 42.4	USNO-B1.0 1199-0241646	17.80 – 18.63 (CV)	0.378704	0.508196	0.7452	C	[37]
165	16 08 25.22 +12 19 08.4	USNO-B1.0 1023-0310699	15.25 – 15.86 (CV)	0.366799	0.491922	0.7456	C	[33]
166	16 10 22.75 +21 48 26.6	V680 Her	15.31 – 15.98 (CV)	0.397592	0.533460	0.7453	CL	[28] *
167	16 11 04.26 +03 28 52.9	V579 Ser	16.58 – 17.29 (CV)	0.356697	0.479144	0.7444	C	[23]
168	16 17 34.13 +41 03 41.8	USNO-B1.0 1310-0265577	16.48 – 17.16 (CV)	0.396868	0.531662	0.7465	C	[37]
169	16 24 27.51 +18 24 49.9	USNO-B1.0 1084-0260951	14.67 – 15.23 (CV)	0.417557	0.559638	0.7461	C	[33]
170	16 30 18.49 +06 26 26.5	USNO-B1.0 0964-0266351	16.34 – 16.96 (CV)	0.406697	0.545187	0.7460	C	[37]
171	16 32 45.59 +32 40 51.2	USNO-B1.0 1226-0325940	16.50 – 17.08 (CV)	0.425795	0.570831	0.7459	C	[37]
172	16 39 13.41 +48 11 02.8	USNO-B1.0 1381-0302066	15.83 – 16.53 (CV)	0.377393	0.506715	0.7448	C	[33]
173	16 40 28.29 –00 42 39.1	V2694 Oph	15.80 – 16.46 (CV)	0.391598	0.524727	0.7463	C	[21]

No.	Координаты (2000)	Обозначение	mag	P <sub>1</sub> , сут.	P <sub>0</sub> , сут.	P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	Данные	Публ.
174	16 43 45.00 +33 06 50.8	USNO-B1.0 1231-0287374	17.47 – 18.26 (CV)	0.400587	0.536720	0.7464	C	[37]
175	16 44 25.39 +52 51 45.8	USNO-B1.0 1428-0330847	17.48 – 18.21 (CV)	0.411312	0.551274	0.7461	C	[37]
176	16 44 45.43 +23 21 31.7	USNO-B1.0 1133-0257604	17.8 – 18.8 (CV)	0.396789	0.532323	0.7454	C	[37]
177	16 46 47.65 +40 51 16.5	USNO-B1.0 1308-0273169	16.40 – 17.08 (CV)	0.373998	0.502498	0.7443	C	[34]
178	16 48 22.86 +04 47 16.9	USNO-B1.0 0947-0266120	16.83 – 17.60 (CV)	0.352468	0.473596	0.7442	C	[37]
179	16 48 27.03 +14 54 07.7	USNO-B1.0 1049-0266304	17.03 – 17.85 (CV)	0.351397	0.472265	0.7441	C	[37]
180	16 48 44.15 +07 32 05.1	USNO-B1.0 0975-0337130	16.70 – 17.51 (CV)	0.397578	0.532921	0.7460	C	[37]
181	16 48 59.11 +24 43 55.6	USNO-B1.0 1147-0245047	16.53 – 17.21 (CV)	0.401141	0.537739	0.7460	C	[34]
182	16 50 09.49 +14 28 19.9	USNO-B1.0 1044-0285694	17.78 – 18.67 (CV)	0.395935	0.530745	0.7460	C	[37]
183	16 57 09.73 +21 40 02.0	USNO-B1.0 1116-0277997	16.57 – 17.50 (CV)	0.364808	0.489858	0.7447	C	[34]
184	16 57 40.31 +20 53 33.7	USNO-B1.0 1108-0268087	16.08 – 16.65 (CV)	0.374442	0.502028	0.7459	C	[34]
185	16 57 57.12 +20 26 15.8	USNO-B1.0 1104-0285077	18.1 – 18.9 (CV)	0.411062	0.550905	0.7462	C	[37]
186	17 03 41.28 +49 33 24.2	USNO-B1.0 1395-0271240	17.41 – 18.20 (CV)	0.414512	0.555957	0.7456	C	[37]
187	17 03 58.58 +52 01 36.5	USNO-B1.0 1420-0306066	16.48 – 17.17 (CV)	0.380940	0.510745	0.7459	C	[37]
188	17 10 02.88 +52 23 39.0	USNO-B1.0 1423-0321174	16.63 – 17.26 (CV)	0.351166	0.472239	0.7436	C	[37]
189	17 15 22.56 +55 33 27.8	USNO-B1.0 1455-0262463	17.9 – 18.8 (CV)	0.348685	0.469194	0.7432	C	[37]
190	17 19 14.27 +44 06 49.1	USNO-B1.0 1341-0303660	17.02 – 17.61 (CV)	0.356425	0.478660	0.7446	C	[37]
191	17 19 26.73 +53 49 43.4	USNO-B1.0 1438-0261177	17.02 – 17.68 (CV)	0.360933	0.484660	0.7447	C	[37]
192	17 30 10.80 +45 22 04.8	USNO-B1.0 1353-0281207	15.65 – 16.22 (CV)	0.375194	0.503175	0.7457	C	[37]
193	17 41 07.33 +48 43 13.6	V1285 Her	12.83 – 13.5 (R)	0.4133	0.5539	0.7462	N	[2]
194	17 51 38.64 +39 03 00.4	USNO-B1.0 1290-0281948	17.81 – 18.75 (CV)	0.357262	0.480341	0.7438	C	[37]
195	19 51 22.91 –41 25 51.6	V2198 Sgr	14.0 – 14.7 (V)	0.41277	0.55307	0.7463	AW	[16]
196	19 52 26.89 –23 17 54.3	V5845 Sgr	14.82 – 15.35 (CV)	0.33662	0.45389	0.7416	SW	[33]
197	20 00 22.55 –44 31 01.7	V2220 Sgr	15.3 – 16.8 (WASP)	0.39786	0.53352	0.7457	W	[23]
198	20 53 29.83 –03 25 47.3	USNO-B1.0 0865-0547700	13.66 – 14.14 (CV)	0.434091	0.582264	0.7455	C	[37]
199	20 55 53.78 –03 30 09.0	USNO-B1.0 0864-0557130	16.91 – 17.62 (CV)	0.420501	0.564100	0.7454	C	[37]
200	20 58 49.72 –07 47 30.8	USNO-B1.0 0822-0766869	16.09 – 16.68 (CV)	0.447354	0.600176	0.7454	C	[37]
201	21 01 26.74 –07 13 08.3	USNO-B1.0 0827-0794782	16.51 – 17.35 (CV)	0.363472	0.488297	0.7444	C	[37]
202	21 05 16.47 –01 57 09.3	USNO-B1.0 0880-0738036	16.61 – 17.19 (CV)	0.350681	0.471482	0.7438	C	[37]
203	21 06 32.72 –03 49 02.1	USNO-B1.0 0861-0556710	16.94 – 17.78 (CV)	0.373810	0.501303	0.7457	C	[37]
204	21 15 30.79 –06 22 58.9	USNO-B1.0 0836-0634195	15.21 – 15.76 (CV)	0.408357	0.546980	0.7466	C	[37]
205	21 17 23.39 –07 59 10.9	USNO-B1.0 0820-0768849	14.94 – 15.74 (CV)	0.347610	0.467934	0.7429	C	[33]
206	21 17 28.18 –21 56 09.0	USNO-B1.0 0680-1002029	15.35 – 15.92 (CV)	0.410838	0.550510	0.7463	C	[33]
207	21 19 27.06 +11 05 56.7	USNO-A2.0 0975-20240597	15.65 – 16.25 (CV)	0.353614	0.475184	0.7442	C	[31] *
208	21 26 58.26 +08 23 43.9	USNO-B1.0 0983-0652938	16.47 – 17.09 (CV)	0.363663	0.488102	0.7451	C	[37]

No.	Координаты (2000)	Обозначение	mag	P <sub>1</sub> , сут.	P <sub>0</sub> , сут.	P <sub>1</sub> /P <sub>0</sub>	Данные	Публ.
209	21 29 33.65 -00 43 30.0	V370 Aqr	14.38 – 14.88 (CV)	0.397664	0.532434	0.7469	C	[21]
210	21 36 14.65 -04 44 59.2	USNO-B1.0 0852-0588756	13.68 – 14.19 (CV)	0.410019	0.549393	0.7463	C	[37]
211	21 46 35.26 -07 45 16.0	USNO-B1.0 0822-0785172	17.73 – 18.45 (CV)	0.411877	0.551978	0.7462	C	[37]
212	21 46 53.48 +18 02 34.1	USNO-B1.0 1080-0684642	16.58 – 17.19 (CV)	0.414626	0.555216	0.7468	C	[37]
213	21 48 53.46 +15 45 20.6	USNO-B1.0 1057-0629220	17.66 – 18.49 (CV)	0.355820	0.478308	0.7439	C	[34]
214	21 51 48.55 +11 55 41.8	USNO-B1.0 1019-0699213	18.0 – 18.9 (CV)	0.361007	0.485087	0.7442	C	[37]
215	21 56 54.02 +13 31 24.7	USNO-B1.0 1035-0607825	16.13 – 16.70 (CV)	0.406224	0.544770	0.7457	C	[34]
216	22 04 48.82 +07 52 28.4	USNO-B1.0 0978-0738928	17.3 – 18.1 (CV)	0.366981	0.492575	0.7450	C	[37]
217	22 07 15.43 -27 23 44.6	GSC 6957-00065	12.8 – 13.5 (V)	0.424897	0.569776	0.7457	A	[9]
218	22 15 30.94 +16 13 16.2	USNO-B1.0 1062-0607697	17.27 – 18.15 (CV)	0.397409	0.532732	0.7460	C	[37]
219	22 17 47.44 +16 19 29.8	USNO-B1.0 1063-0609449	17.21 – 17.98 (CV)	0.407067	0.545923	0.7456	C	[34]
220	22 27 17.66 +25 20 08.4	GSC2.3 N09A000095	14.66 – 15.13 (CV)	0.402699	0.539620	0.7463	CW	[34]
221	22 27 54.44 +03 59 20.7	USNO-B1.0 0939-0601046	17.51 – 18.34 (CV)	0.366788	0.492187	0.7452	C	[37]
222	22 34 30.58 +11 39 12.6	USNO-B1.0 1016-0656702	16.81 – 17.43 (CV)	0.388810	0.521470	0.7456	C	[34]
223	22 40 00.25 +33 22 37.6	USNO-B1.0 1233-0612339	14.51 – 15.11 (CV)	0.357748	0.480465	0.7446	CW	[34]
224	22 43 20.23 +19 14 33.1	USNO-B1.0 1092-0590255	16.58 – 17.32 (CV)	0.356073	0.478391	0.7443	C	[34]
225	22 49 05.19 +22 15 55.0	USNO-B1.0 1122-0653652	17.12 – 17.86 (CV)	0.400595	0.536693	0.7464	C	[37]
226	22 51 17.35 +26 10 54.5	USNO-B1.0 1161-0575560	17.10 – 17.75 (CV)	0.371521	0.498880	0.7447	C	[34]
227	22 55 42.42 +08 59 36.2	USNO-B1.0 0989-0604703	15.41 – 16.07 (CV)	0.349286	0.469896	0.7433	C	[34]
228	22 59 44.71 +29 08 36.4	USNO-B1.0 1191-0584498	16.43 – 17.15 (CV)	0.375699	0.503623	0.7460	C	[37]
229	23 01 06.61 -08 06 03.1	USNO-B1.0 0818-0752437	15.76 – 16.36 (CV)	0.425484	0.570136	0.7463	CS	[37]
230	23 16 04.15 +23 28 42.9	USNO-B1.0 1134-0563221	17.64 – 18.47 (CV)	0.347608	0.467317	0.7438	C	[37]
231	23 19 03.43 +12 13 20.4	USNO-B1.0 1022-0771774	17.52 – 18.32 (CV)	0.409944	0.549317	0.7463	C	[37]
232	23 20 20.40 -05 44 17.2	USNO-B1.0 0842-0650428	18.1 – 18.9 (CV)	0.377479	0.506748	0.7449	C	[37]
233	23 33 59.04 +31 38 12.3	USNO-B1.0 1216-0595598	16.98 – 17.85 (CV)	0.371137	0.498405	0.7446	C	[37]
234	23 34 57.84 -15 19 00.6	USNO-B1.0 0746-0838716	16.32 – 16.98 (CV)	0.358927	0.482006	0.7447	CS	[37]
235	23 49 00.58 +27 03 16.4	GSC 2255-01669	13.62 – 14.29 (CV)	0.366862	0.492663	0.7447	CW	[34]

Для всех исследованных переменных были построены кривые блеска, пример которых представлен на рисунке 3.1. На верхних графиках показаны кривые блеска с периодами основной моды и первого обертона, построенные из исходных данных, на нижних – кривые блеска для соответствующих периодов, когда все другие обнаруженные колебания исключены. Ниже приведен спектр мощности для частот  $f_1$  и  $f_0$  (внизу частота  $f_1$  исключена).

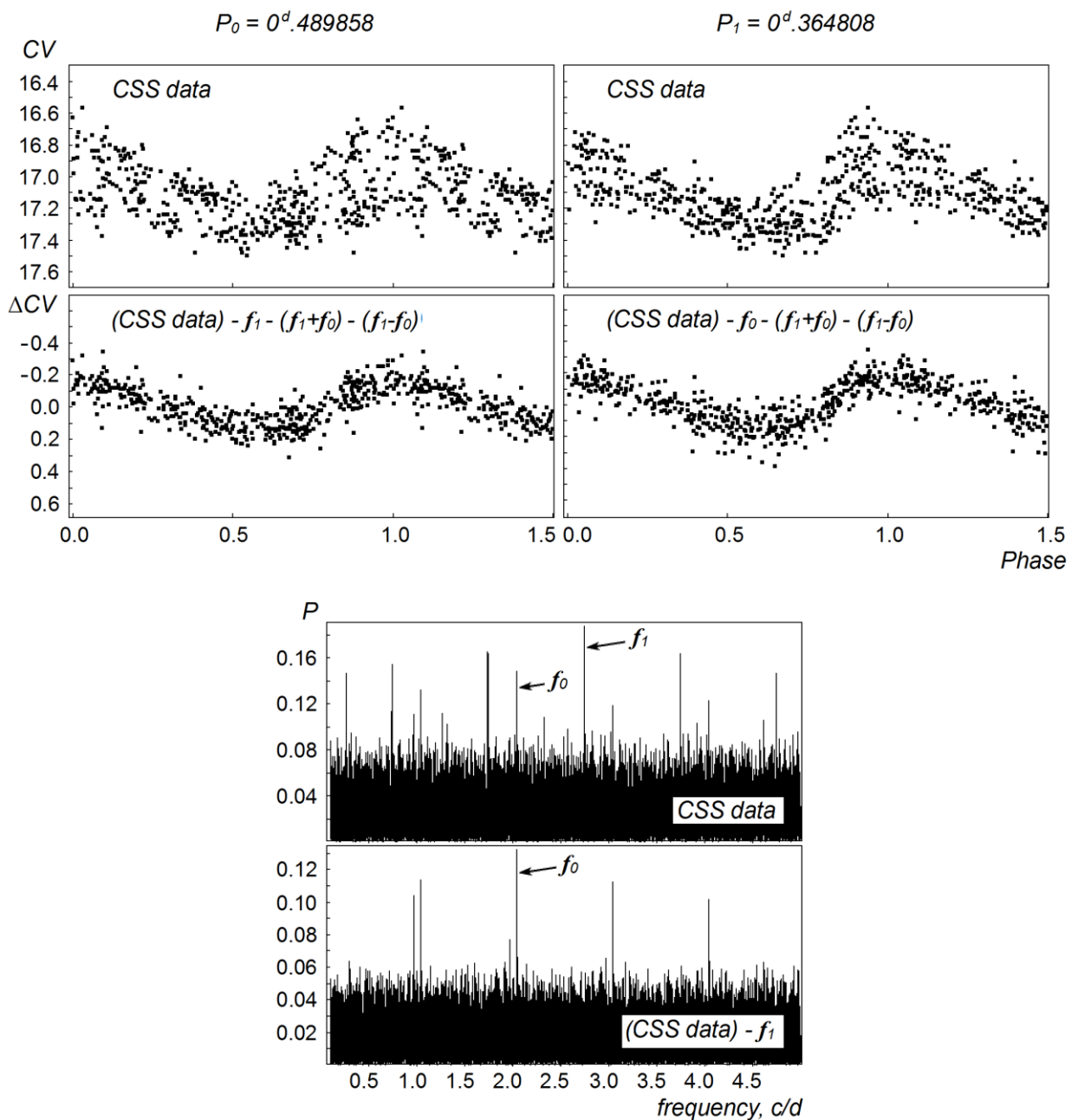


Рис. 3.1. Кривые блеска и спектры мощности переменной типа RR(B) USNO-B1.0 1116-0277997 (№ 183).



На рисунке 3.2 представлена диаграмма Петерсена для всех известных звезд типа RR Лиры с двойной периодичностью поля Галактики (за исключением большей части звезд в направлении галактического центра – звезд проектов OGLE-IV и MACHO, а также звезд карликовой галактики в Стрельце). Звезды, двойная периодичность которых найдена автором работы, показаны квадратами, другие известные RR(B)-звезды – крестиками.

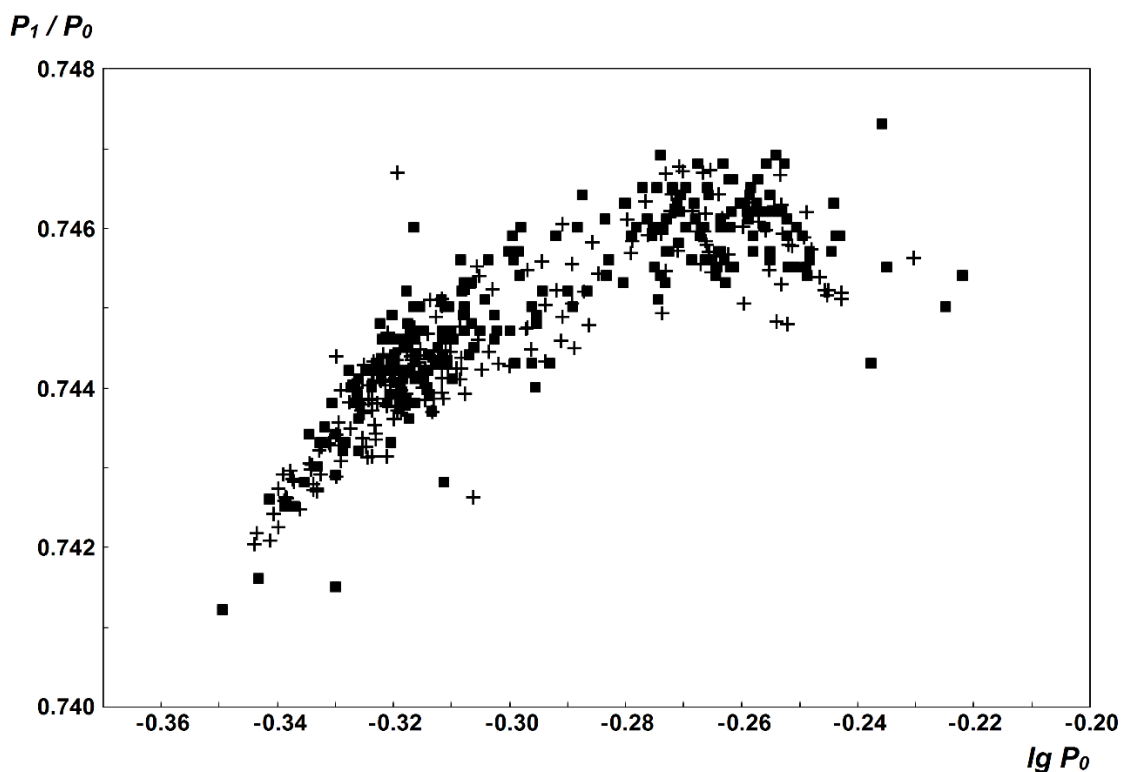


Рис. 3.2. Диаграмма Петерсена для звезд типа RR(B) поля Галактики.

Среди выделенных нами звезд типа RR Лиры с двойной периодичностью рассмотрим два случая переменных с экстремальными периодами. Найденная нами звезда USNO-B1.0 0822-0766869 (№ 200) имеет наибольший среди звезд типа RR(B) период  $P_0 = 0.600176$  сут., [37]. Несколько больший период ( $P_0 = 0.60371$  сут.) имеет лишь переменная vs3f773 из работы Черешнеш (2001), которую относят к звездам карликовой галактики в Стрельце. Переменная USNO-B1.0 0773-0284953 (№ 60) из той же нашей работы имеет практически наименьший период основной моды среди звезд поля, удаленных достаточно

далеко от плоскости Галактики ( $b = +37^\circ.4$ ;  $P_0 = 0.447456$  сут.). RR(B) звезды с более короткими периодами известны лишь в направлении на центр Галактики: это несколько десятков звезд из проекта OGLE-III, а также звезда vs7f54 (Черешнеш 2001) с периодом  $P_0 = 0.43574$  сут., относимая к звездам Галактики.

Кроме того, интересен редкий случай USNO-B1.0 1344-0191047 (№ 20), у которой амплитуда основной моды значительно превосходит амплитуду первого обертона. При этом отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7460$  заметно больше характерного для соответствующего периода основной моды ( $P_0 = 0.482702$  сут.), и на диаграмме Петерсена звезда располагается заметно выше остальных звезд с близкими периодами.

Используя полученные нами результаты и всю доступную нам информацию по RR(B) звездам (не рассматривались лишь звезды в направлении на центр Галактики из обзоров OGLE и др.), мы построили распределение по периодам звезд типа RR Лиры с двойной периодичностью галактического поля. Нами использованы данные о 460 звездах. Полученное распределение, показанное на рисунке 3.3, имеет бимодальный характер с главным максимумом вблизи периода  $P_0 = 0.48$  сут. и со вторичным максимумом вблизи  $P_0 = 0.54$  сут.

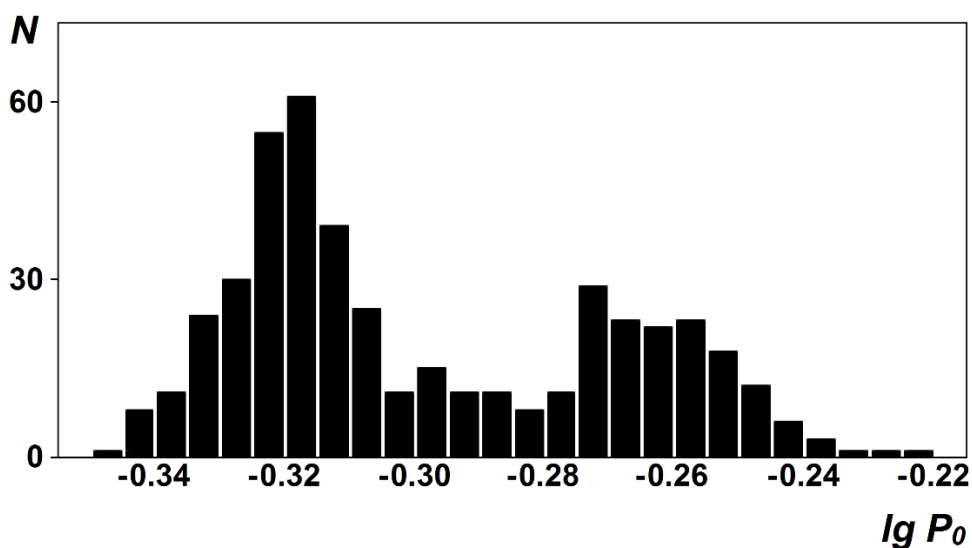


Рисунок 3.3. Распределение звезд типа RR(B) по периодам.

Ранее бимодальность распределения звезд типа RR(B) Галактики по периодам не была очевидна вследствие недостатка данных о звездах этого типа. Данное распределение не обнаруживает заметного бимодального характера для галактики Большого Магелланова Облака и показывает слабую бимодальность для Малого Магелланова Облака (Сошински и др. 2010b).

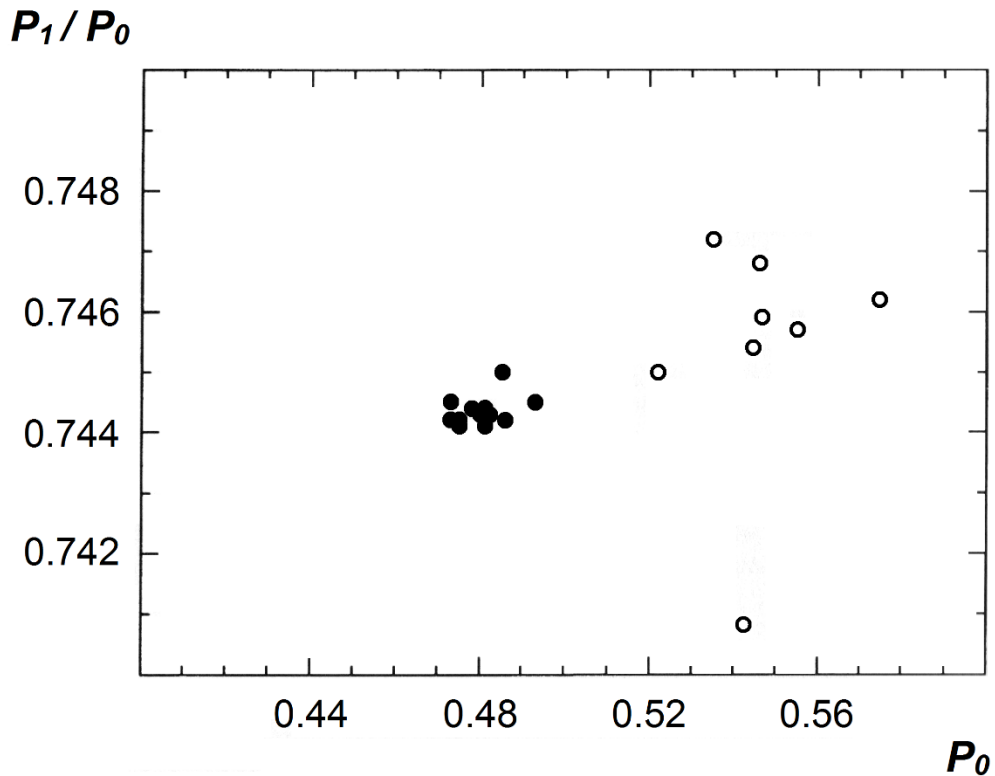


Рисунок 3.4. Диаграмма Петерсена для RR(B)-звезд шаровых скоплений: II класс Оостерхофа (M15 и M68) – кружки, I класс Оостерхофа (IC4499) – точки, из работы Смита (1995).

Оба максимума распределения RR(B)-звезд по периодам, вероятно, совпадают с максимумами распределения по периодам RR(B)-звезд шаровых скоплений I и II классов Оостерхофа. На рисунке 3.4 приведена диаграмма Петерсена из работы Смит (1995) для звезд нескольких шаровых скоплений, на которой точками обозначены звезды скоплений II класса Оостерхофа, а кружками – I класса. Видно, что звезды скоплений I класса (IC 4499) имеют периоды, близкие к периодам главного максимума распределения RR(B)-звезд поля ( $P_0 = 0.48$  сут.), а звезды скоплений II класса (M15 и M68) имеют периоды,

близкие к периодам вторичного максимума распределения ( $P_0 = 0.54 - 0.55$  сут.).

Данный результат опубликован в нашей статье [40].

### 3.2. USNO-B1.0 1171-0309158, изменение моды RR(B) → RRAB

О переменности USNO-B1.0 1171-0309158 ( $\alpha = 16^{\text{h}} 56^{\text{m}} 41^{\text{s}}.98$ ,  $\delta = +27^{\circ} 09' 55''.1$  (J2000), каталог 2MASS, Скрутски и др. 2006) впервые сообщено в Каталоге периодических переменных звезд обзора Catalina (Дрейк и др. 2014), где она имеет обозначение CSS\_J165642.0+270955. Переменная была классифицирована как звезда типа RR Лиры (подтип RRC) с периодом 0.38421 суток. Данные обзора Catalina были нами проанализированы повторно. Была обнаружена двойная периодичность, характерная для пульсаций в основной моде и в первом оберitone, но кривая блеска также показывала дополнительное рассеяние, заметно большее, чем у других подобных звезд, имеющих блеск около  $16^{\text{m}}$ . Было сделано предположение, что период звезды меняется, после чего отдельно были проанализированы первая и вторая половины фотометрического ряда данных Catalina.

Анализ первой половины ряда (JD2453470 – 2455000) показал устойчивую двойную периодичность с элементами изменения блеска:

$$\text{1O: } \text{HJD}(\text{max}) = 2454200.342 + 0^{\text{d}}.384216 \times E; A = 0.155$$

$$\text{F: } \text{HJD}(\text{max}) = 2454200.184 + 0^{\text{d}}.516675 \times E; A = 0.083$$

Отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7436$ .  $A$  – полуамплитуда колебания.

Анализ второй половины ряда (JD2455000 – 2456590) показал двойную периодичность со значительно бóльшим рассеянием на кривой блеска.

Элементы:

$$\text{1O: } \text{HJD}(\text{max}) = 2455800.170 + 0^{\text{d}}.384144 \times E; A = 0.112$$

$$\text{F: } \text{HJD}(\text{max}) = 2455800.322 + 0^{\text{d}}.516734 \times E; A = 0.158$$

Отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7434$ .

При этом амплитуда основной моды значительно увеличилась (почти в 2 раза), а амплитуда первого обертона заметно уменьшилась, и если вначале было  $A_1 > A_0$ , то потом  $A_1 < A_0$ . Период первого обертона уменьшился на величину  $\Delta P_1 = 0.000072$  сут.  $\approx 6$  с., а период основной моды увеличился на  $\Delta P_0 = 0.000059$  сут.  $\approx 5$  с. При анализе второй половины ряда данных Catalina, вероятно, получены средние значения амплитуд и периодов, так как изменения должны были происходить на протяжении всего этого интервала наблюдений.

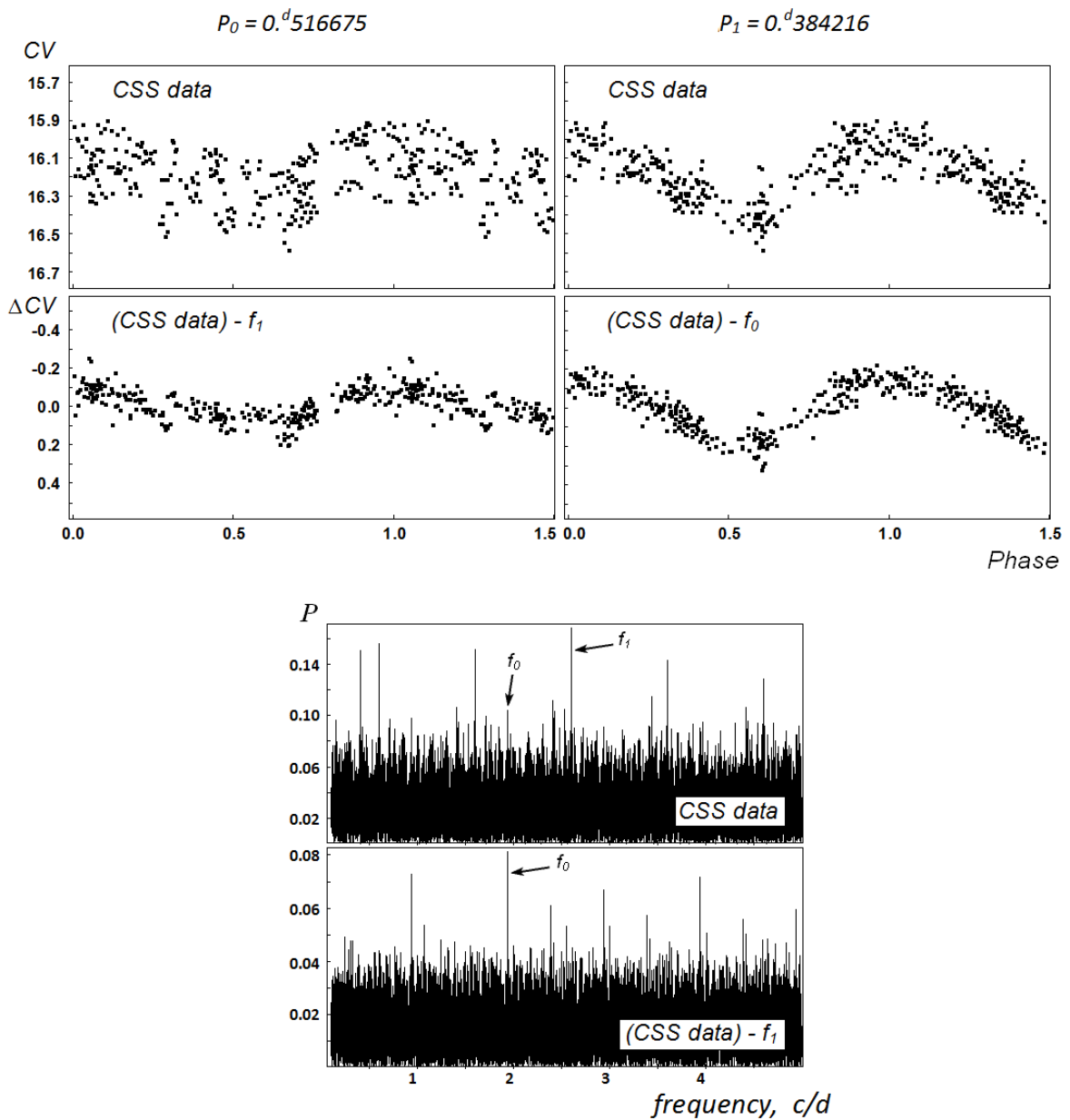


Рисунок 3.5. Кривые блеска и спектры мощности USNO-B1.0 1171-030918 по данным CSS, JD2453470 – 2455000.

Кривые блеска и спектры мощности для первого интервала приведены на рисунке 3.5, для второго интервала – на рисунке 3.6.

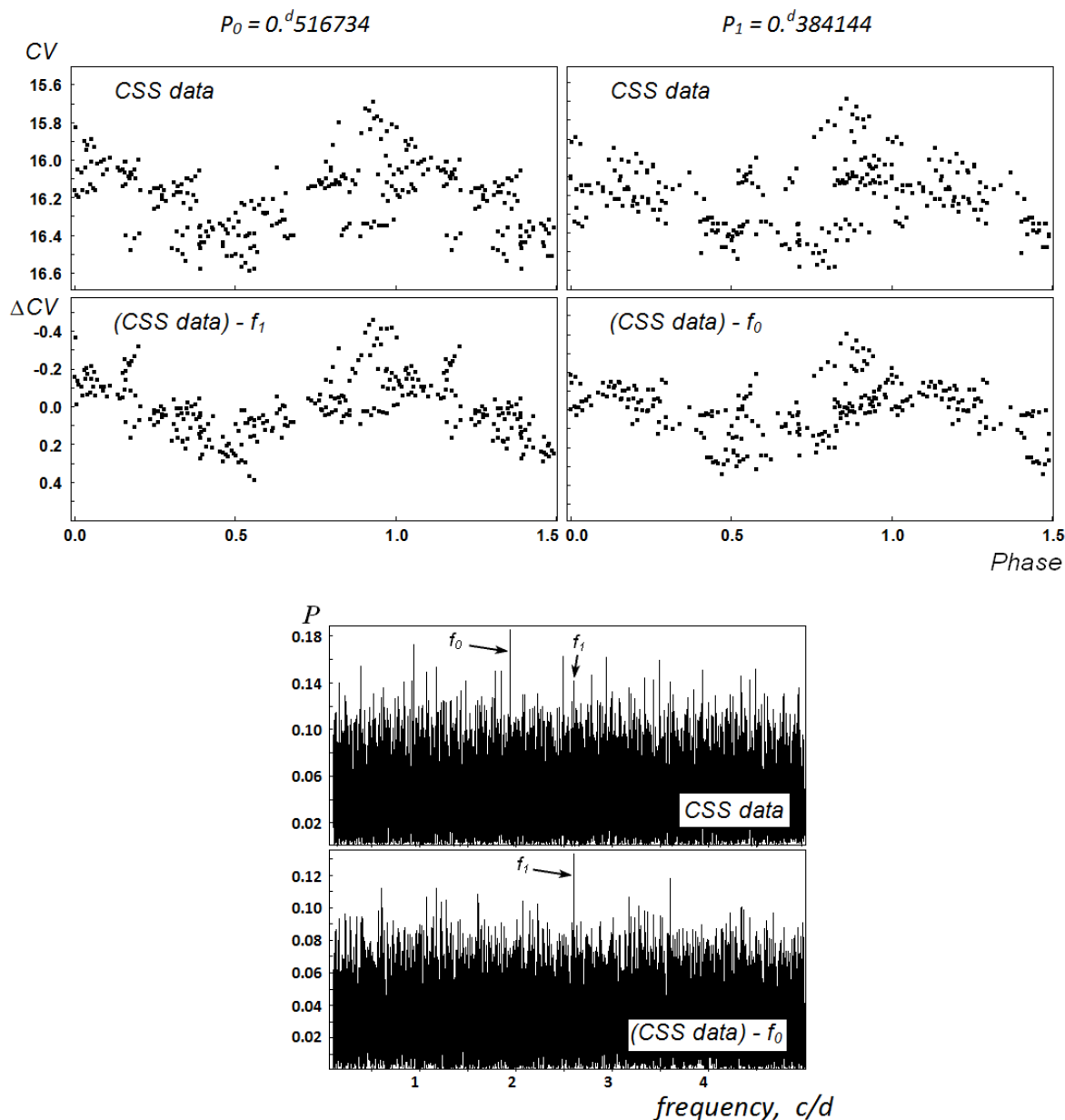


Рисунок 3.6. Кривые блеска и спектры мощности USNO-B1.0 1171-0309158 по данным CSS, JD2455000 – 2456590.

В интервале наблюдений CSS блеск звезды менялся в пределах  $15^m.73 - 16^m.59$  (CV), заметно увеличение амплитуды к концу ряда наблюдений. Рисунок 3.7 показывает изменение амплитуды колебаний в основной моде при исключенном колебании в первом оберitone (среднего значения) за весь период наблюдений Catalina.

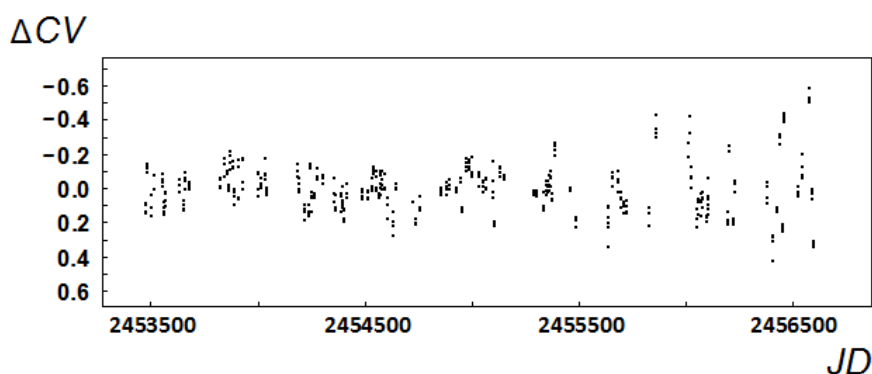


Рисунок 3.7. Изменение амплитуды колебаний USNO-B1.0 1171-0309158 в основной моде при исключенном колебании в первом оберitone; данные CSS.

Мы предположили, что у звезды возможно практически полное исчезновение пульсаций в первом оберitone, увеличение амплитуды колебаний в основной моде и превращение переменной в звезду типа RRAB.

На Тянь-Шаньской астрономической обсерватории в 2015 г. были проведены ПЗС-наблюдения (Восточный Zeiss-1000) в стандартных  $B$ ,  $V$  и  $R$  полосах фотометрической системы Джонсона, которые полностью подтвердили наше предположение: USNO-B1.0 1171-0309158 в интервале JD2457161 – 2457259 показала колебания с периодом основной моды с амплитудой и формой кривой блеска, полностью соответствующими типу RRAB, при этом колебания в первом оберitone не обнаружены. Таким образом, переменная изменила тип переменности с RR(B) на RRAB. Кривые блеска в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$  приведены на рисунке 3.8. На сегодняшний день переменная имеет следующие элементы изменения блеска:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2457209.290 + 0^{\text{d}}.51722 \times E.$$

Блеск меняется в пределах  $15^{\text{m}}.72 - 17^{\text{m}}.29$  ( $B$ ),  $15^{\text{m}}.57 - 16^{\text{m}}.83$  ( $V$ ), полная амплитуда в полосе  $R$  составляет  $\Delta R = 1.02$ .

Таким образом, полное изменение периода основной моды за время наблюдений обзора Catalina и наших ПЗС-наблюдений (JD2453470 – 2457260) составило  $\Delta P_0 = 0.000545$  сут.  $\approx 47$  с.

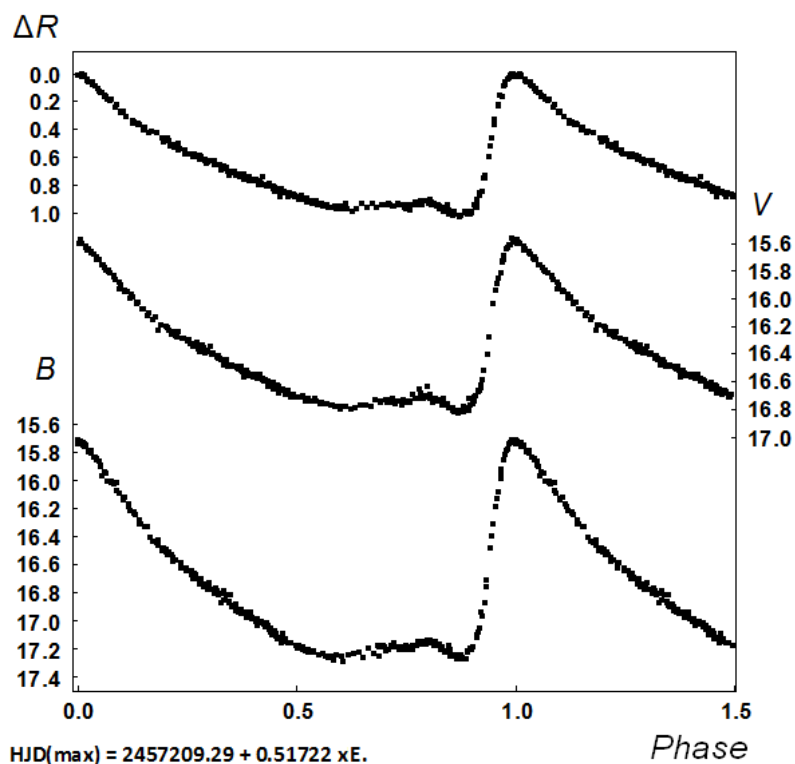


Рисунок 3.8. Кривые блеска USNO-B1.0 1171-0309158 в полосах *B*, *V* и *R* системы Джонсона, ПЗС-наблюдения 2015 г.

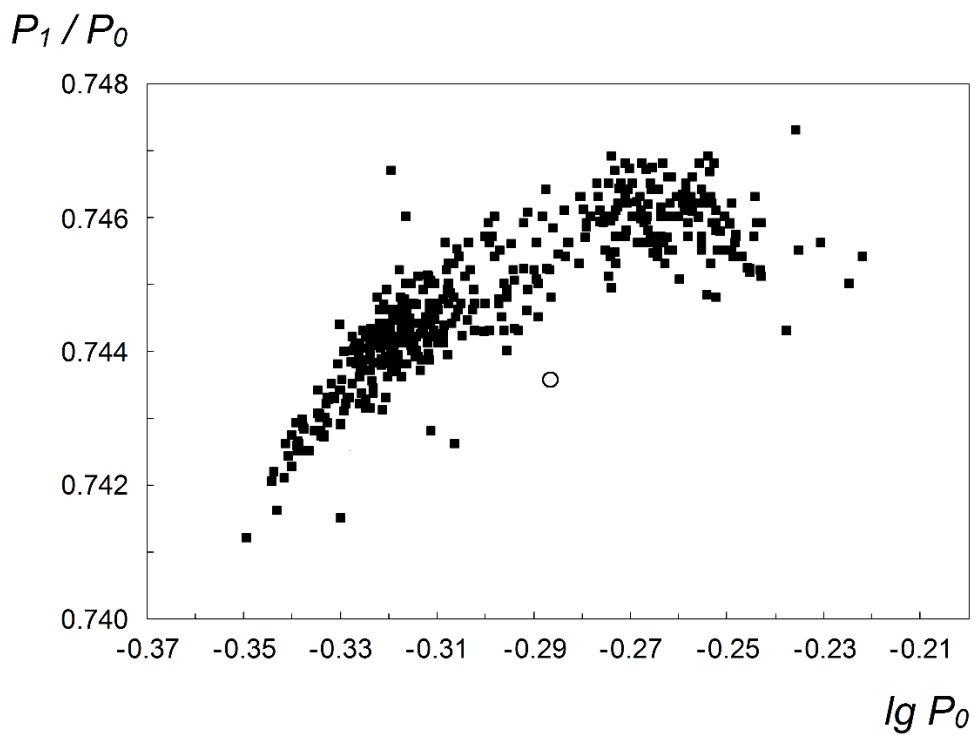


Рисунок 3.9. USNO-B1.0 1171-0309158 на диаграмме Петерсена (обозначена кружком).



На диаграмме Петерсена (рисунок 3.9) звезда располагается заметно ниже других переменных близких периодов, что может являться следствием ее эволюционной стадии.

Результат опубликован в arXiv [42].

Несколько подобных звезд, у которых наблюдалось изменение (переключение) мод пульсаций (mode switching), известно в Галактике. Первая звезда типа RR Лиры, изменившая моду пульсации, была обнаружена Калюжным и др. (1998) – это V79 в шаровом скоплении M3, которая была известна как RRAB звезда до 1992 года (около века со времени ее открытия), когда она стала пульсировать в двух модах, тип RR(B). При сравнении данных обзоров OGLE-III и OGLE-IV Сошински и др. (2014a) и Сошински и др. (2014b) в балдже Галактики обнаружили следующие три подобные переменные: OGLE-BLG-RRLYR-07226 (RR(B) → RRAB), OGLE-BLG-RRLYR-12245 (RR(B) → RRAB) и OGLE-BLG-RRLYR-13442 (RRAB → RR(B)). В Большом Магеллановом Облаке при сравнении данных обзоров EROS-II и OGLE-I Полески (2014) найдено изменение пульсационной моды у LMC-RRLYR-13308 (RR(B) → RRAB). Каинс и др. (2015) выделяют несколько кандидатов в переменные типа RR Лиры с изменившейся модой в шаровом скоплении M68, но этот результат кажется менее достоверным, чем перечисленные выше, и требует проверки.

### **3.3. RRC звезды с одной дополнительной нерадиальной модой**

В ходе поиска переменных типа RR Лиры с двумя радиальными пульсациями в основной моде и первом оберitone был обнаружен ряд переменных типа RRC, у которых возбуждена одна или две нерадиальные моды с частотами, близкими к частотам радиальной моды (первый оберитон). Некоторые авторы рассматривают звезды этого типа переменности как RRC-звезды с эффектом Блажко.

Звезды типа RRC с одной нерадиальной пульсацией, частота которой близка к частоте первого обертона, впервые обнаружили Олех и др. (1999) в шаровом скоплении M55 (три переменные). Оллок и др. (2000) выделили 24 такие переменные среди звезд Большого Магелланова Облака (проект MACHO, обозначение типа переменности RR1-v1). Среди звезд поля Галактики известна звезда V701 Pup (Антипин и Юрчик 2005).

У звезд данного типа отношения периодов  $P_2/P_1$  (при  $P_1 > P_2$ ) колебаний находятся в пределах 0.9 – 0.999. Амплитуда вторичного колебания может быть значительно меньше амплитуды основного, но также может быть и почти равной ей.

Нами найдены 17 случаев звезд типа RRC с одной дополнительной нерадиальной модой. Все переменные ранее были известны как звезды типа RRC (кроме No.2, USNO-B1.0 1278-0205991, ранее отнесенной Дрейком и др. (2014) к RR(B)-звездам). Результаты представлены в Таблице 3.2. В таблице даны координаты на эпоху 2000.0, обозначения по каталогам GSC и USNO-B1.0, звездная величина в системе обзора Catalina Surveys (CV; только для №1, отмеченного звездочкой, звездные величины даны по WASP), буквенная ссылка на данные (см. табл. 3.1), период пульсации в первом обертоне ( $P_1$ ) и в нерадиальной моде ( $P_N$ ), отношение периодов ( $P_1/P_N$ ), период биений (период эффекта Блажко), отношение амплитуд, ссылка на публикацию.

Результаты опубликованы в наших статьях: по звезде №1 в [39], по звездам №4 и №15 в [22]; по остальным звездам в статье [38].

Таблица 3.2. RRC-звезды с одной нерадиальной пульсацией.

No.	Координаты (2000.0)	Обозначение	mag (CV)	Данные	P <sub>1</sub> , сут.	P <sub>N</sub> , сут.	P <sub>1</sub> /P <sub>N</sub>	P <sub>Бл</sub> , сут.	A <sub>1</sub> /A <sub>N</sub>
1	01 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 23 <sup>s</sup> .21, +48° 00' 28".4	GSC 3282-00145	13.12 – 13.53*	W	0.204930	0.187763	1.0914	2.24	4.13
2	02 34 39.44, +04 55 28.4	USNO-B1.0 0949-0024801	13.84 – 14.26	C	0.2816745	0.2820182	0.9988	231	1.37
3	08 25 19.75, +37 48 25.0	USNO-B1.0 1278-0205991	15.12 – 15.45	C	0.2563447	0.2534778	1.0113	22.7	1.19
4	09 18 16.99, +31 58 48.7	MY Cnc	13.83 – 14.26	CW	0.287059	0.281995	1.0180	16.0	1.25
5	10 19 59.98, +30 17 54.6	USNO-B1.0 1202-0180839	17.6 – 18.3	C	0.3094036	0.3056288	1.0124	25	1.03
6	10 24 22.39, +36 55 24.3	USNO-B1.0 1269-0201347	13.95 – 14.37	CW	0.306622	0.313789	0.9772	13.4	3.57
7	12 11 43.61, –16 45 00.8	USNO-B1.0 0732-0287960	15.79 – 16.39	CS	0.2687390	0.2691307	0.9985	185	2.82
8	12 32 04.84, +18 20 09.7	USNO-B1.0 1083-0224291	15.82 – 16.29	C	0.2635594	0.2687276	0.9808	13.7	1.61
9	14 11 13.47, +06 40 13.7	USNO-B1.0 0966-0241897	15.84 – 16.25	C	0.2772165	0.2702020	1.0260	10.7	1.63
10	14 16 04.81, +29 59 08.3	USNO-B1.0 1199-0219251	15.76 – 16.11	C	0.2940444	0.2909421	1.0107	27.6	2.59
11	14 34 29.84, +26 57 28.0	USNO-B1.0 1169-0257343	16.11 – 16.48	C	0.2696078	0.2645555	1.0191	14.1	1.30
12	15 07 36.04, +10 05 02.6	USNO-B1.0 1000-0239484	17.03 – 17.76	C	0.321350	0.324200	0.9912	36.6	1.23
13	16 31 59.91, +33 51 35.3	USNO-B1.0 1238-0254586	16.65 – 17.30	C	0.2744265	0.2737529	1.0025	112	2.41
14	17 40 16.19, +31 59 50.5	USNO-B1.0 1219-0309843	15.65 – 16.14	C	0.347583	0.340686	1.0202	17.2	1.62
15	22 58 09.31, +00 52 16.7	KV Psc	15.51 – 16.10	C	0.282741	0.289120	0.9779	12.8	3.45
16	23 18 25.66, +24 25 51.8	USNO-B1.0 1144-0564929	15.31 – 15.87	C	0.3054374	0.3122540	0.9782	14.0	3.18
17	23 57 56.77, +29 17 34.0	USNO-B1.0 1192-0600617	16.55 – 17.26	C	0.299201	0.310512	0.9636	8.2	2.39

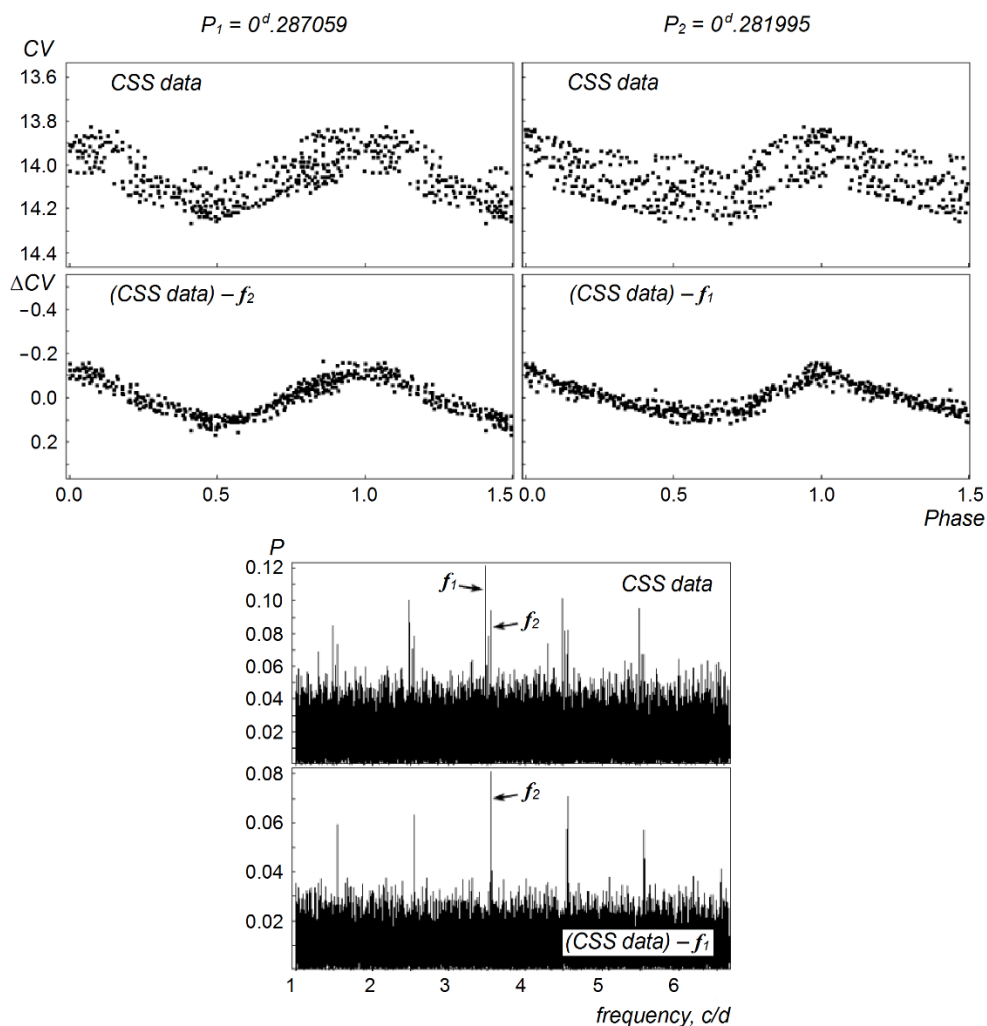


Рис. 3.10. Кривые блеска звезды типа RRC с одной дополнительной нерадиальной модой MY Cen (№4) по данным обзора Catalina Surveys.

Периоды переменных, у которых найдены вторичные пульсации, находятся в пределах 0.20 – 0.35 сут. Период нерадиальной пульсации в равной мере может быть больше или меньше периода основного колебания  $P_1$ : для половины найденных случаев  $P_1 > P_N$ , для другой половины наоборот. Отношения периодов  $P_2/P_1$  исследованных переменных находятся в пределах 0.916 – 0.999 (при  $P_1 > P_2$ ), соответствующие периоды биений, подобных эффекту Блажко для звезд типа RRAB, составляют от 2.24 сут. до 231 сут. Амплитуды пульсаций могут как сильно отличаться (№1,  $A_1/A_N = 4.13$ ), так и быть практически равными (№5,  $A_1/A_N = 1.03$ ), что в последнем случае помогло выявлению двойной периодичности, так как эта переменная имеет

наименьший блеск и, соответственно, наибольшие ошибки наблюдений среди шестнадцати исследованных нами.

Кривая блеска одной из найденных переменных (MY Cnc, №4) показана на рисунке 3.10.

### **3.4. RRC звезды с двумя нерадиальными модами: эквидистантные триплеты**

Существуют также переменные типа RRC, у которых одновременно возбуждены две нерадиальные пульсации. Их также называют эквидистантными триплетами вследствие того, что модули разностей частот первой и второй нерадиальных мод и основного колебания равны, то есть частота одного из нерадиальных колебаний больше частоты  $f_1$  на некую величину  $m$ , а частота второго – меньше частоты  $f_1$  на ту же величину  $m$ . Обозначим все частоты как  $f_1$ ,  $(f_1+m)$  и  $(f_1-m)$ . При этом разница между соседними частотами невелика, подобна описанным выше RRC-звездам с одной нерадиальной пульсацией.

Оллок и др. (2000) выделили 28 переменных этого типа среди звезд Большого Магелланова Облака (проект MACHO, обозначение типа переменности RR1-BL). В Галактике среди звезд поля известен случай V1141 Her (Антипин и др. 2010,  $P_1 = 0.317152$  сут.,  $m = 0.030$  сут.<sup>-1</sup>). Юрчик и др. (2015) в шаровом скоплении M3 выделили ряд RRC-звезд с нерадиальными пульсациями, в числе которых эквидистантный триплет V140 ( $P_1 = 0.33316$  сут.,  $m = 0.0689$  сут.<sup>-1</sup>).

Нами найдены 6 случаев звезд типа RRC с двумя дополнительными нерадиальными модами (эквидистантных триплетов). Все переменные ранее были известны как звезды типа RRC (кроме No.2, USNO-B1.0 0792-0227178, ранее отнесенной Дрейком и др. (2014) к RR(B)-звездам). Результаты представлены в таблице 3.3. В таблице даны координаты равноденствия 2000.0, обозначения по каталогам GSC и USNO-B1.0, звездная величина в

системе обзора Catalina Surveys (CV), буквенная ссылка на данные (см. таблицу 3.1), период пульсации в первом обертоном ( $P_1$ ), модуль разности нерадиальных частот и частоты первого обертона ( $m$ ), периоды колебаний, соответствующих частотам ( $f_{1+m}$ ) и ( $f_{1-m}$ ), отношения амплитуд изменения блеска частот ( $f_{1+m}$ ) и ( $f_{1-m}$ ).

Таблица 3.3. RRC, эквидистантные триплеты.

№	Координаты (2000.0)	Обозначение	mag (CV)	Данные
1	03 <sup>h</sup> 09 <sup>m</sup> 49 <sup>s</sup> .30, +28° 34' 05".0	USNO-B1.0 1185-0037622	17.00 – 17.75	C
2	11 39 37.27, –10 44 27.8	USNO-B1.0 0792-0227178	14.87 – 15.66	CS
3	13 06 10.90, –14 10 31.5	USNO-B1.0 0758-0272311	15.13 – 15.78	CS
4	14 10 22.29, +25 44 32.9	V352 Boo	13.83 – 14.30	CW
5	16 20 25.94, +00 38 20.3	USNO-B1.0 0906-0261394	15.65 – 16.21	CL
6	16 51 26.51, +12 51 56.8	USNO-B1.0 1028-0341556	17.32 – 18.15	C

Таблица 3.3. (продолжение).

№	$P_1$ , сут.	$m$ , сут. <sup>-1</sup>	$P_{(1+m)}$ , сут.	$P_{(1-m)}$ , сут.	$A_{(1+m)} / A_{(1-m)}$
1	0.280450	0.0846	0.273952	0.287266	0.86
2	0.331354	0.01776	0.329415	0.333314	0.64
3	0.327613	0.0887	0.318360	0.337419	1.43
4	0.344703	0.01964	0.342383	0.347051	0.54
5	0.325881	0.1031	0.315288	0.337211	1.20
6	0.362526	0.0718	0.353332	0.372224	1.25

Результат по звезде №4 опубликован в статье [22], результаты по остальным звездам опубликованы в статье [40].

Периоды основного колебания (первый обертоном,  $P_1$ ) всех эквидистантных триплетов находятся в пределах 0.280 – 0.363 сут. Для амплитуд нерадиальных мод в равной мере возможны случаи  $A_{1+m} > A_{1-m}$  и  $A_{1+m} < A_{1-m}$ .

Кривые блеска для звезд № 1, 2, 3, 5, 6 приведены на рисунке 3.11. В начале строки дана кривая блеска с периодом  $P_1$  (по исходным данным), далее последовательно даны кривые блеска всех трёх колебаний, для которых исключены две другие частоты. Отметим, что исходная фазовая кривая блеска с периодом первого обертона имеет характерную форму и рассеяние, по которым можно предварительно (без частотного анализа) выделять эквидистантные триплеты среди других звезд типа RRC.

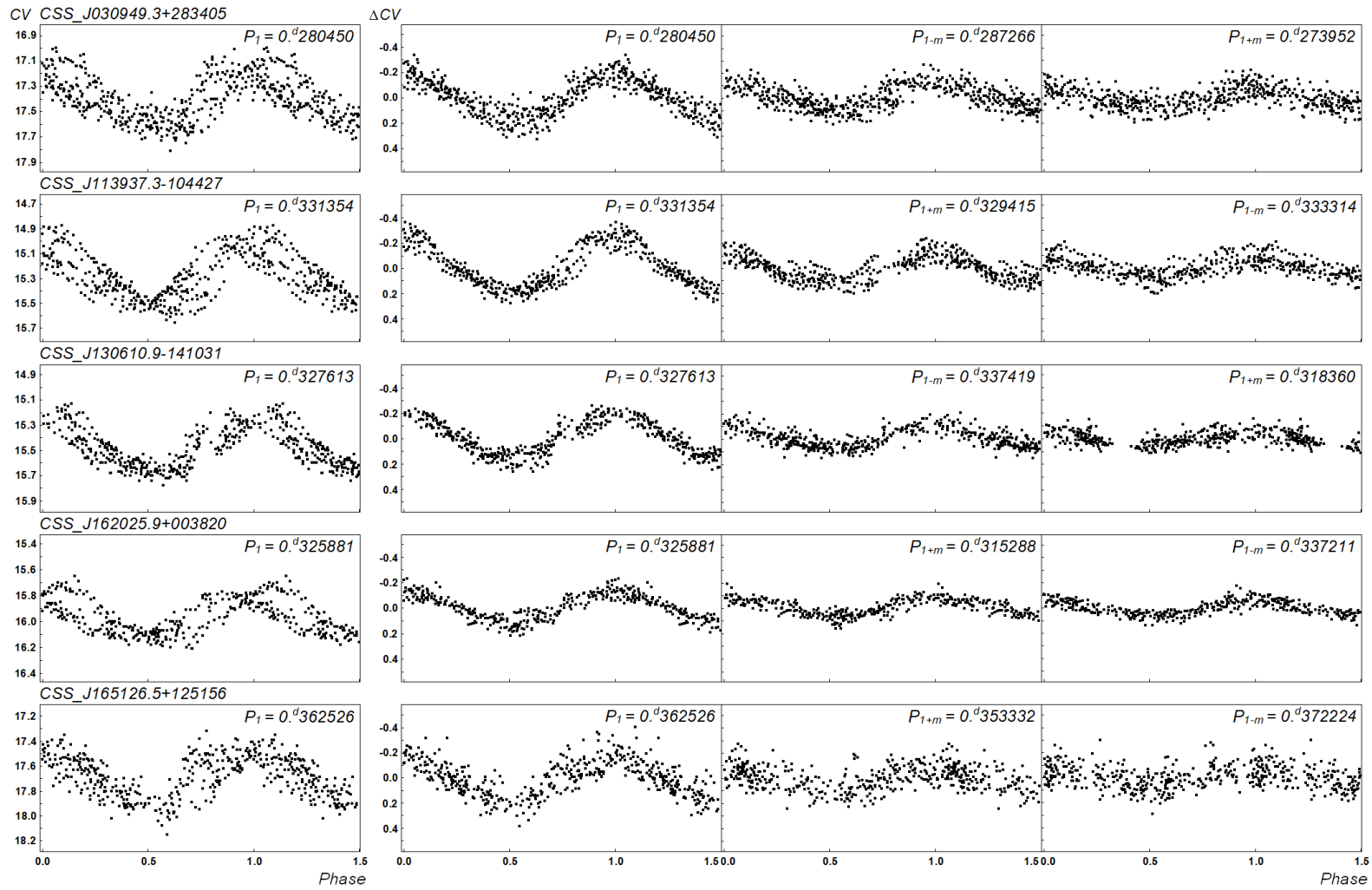


Рисунок 3.11. Кривые блеска звезд типа RRC с двумя нерадиальными пульсациями (эквидистантных триплетов).

#### Глава 4. Цефеиды с двойной периодичностью.

Оостерхоф (1957а) впервые выделил среди звезд типа  $\delta$  Цефея группу с большим разбросом точек на фотоэлектрической фазовой кривой блеска. Оказалось, что наблюдения этих переменных можно объяснить наложением двух колебаний.

В начальный период исследования двойной периодичности цефеид были обнаружены только переменные, пульсирующие в основной моде и первом оберitone. Это объясняется большими амплитудами изменения блеска в обеих модах: амплитуда колебания в первом оберitone сравнима с амплитудой колебаний в основной моде, а часто и близка к ней. Колебания же цефеид во втором оберitone показывают значительно меньшие амплитуды, вследствие чего выделить такие переменные по фотографической фотометрии было практически невозможно.

Значительный прогресс в выявлении цефеид с двойной и множественной периодичностью (в особенности  $1O/2O$ ) был вызван появлением автоматических телескопов и электронных архивов фотоэлектрических наблюдений. В ходе проведения эксперимента OGLE-II по поиску явлений гравитационного микролинзирования (1997–2000 гг.) в Большом (БМО) и Малом (ММО) Магеллановых Облаках в качестве побочного результата исследований было открыто несколько тысяч новых классических цефеид. Наблюдения были продолжены (OGLE-III, 2001 – 2008 гг.), были найдены тысячи новых переменных звезд, в том числе и цефеиды с двойной периодичностью: в БМО было обнаружено 61 F/1O и 203 1O/2O цефеид (Сошински и др. 2008а), в ММО было найдено 59 F/1O и 215 1O/2O цефеид (Сошински и др. 2010а). Основываясь на этих результатах, можно предположить, что и в нашей Галактике, значительно превосходящей по своим размерам и БМО, и ММО, должно быть значительно больше цефеид 1O/2O, чем найдено на данный момент.



Кроме цефеид с двойной периодичностью, также известно небольшое число цефеид, пульсирующих в трёх модах, F/1O/2O. Несколько таких случаев известно в Магеллановых Облаках; также там известны и 1O/2O/3O цефеиды. В Галактике пока известно всего 2 случая F/1O/2O цефеид с тройной периодичностью: это V823 Cas, и, вероятно, сюда же следует отнести AC And. Сошински и др. (2011a) в балдже Галактики обнаружили три 1O/2O/3O цефеиды.

#### **4.1. Цефеиды основной моды и первого обертона, F/1O**

Первой цефеидой основной моды и первого обертона, у которой надежно были определены два периода, была TU Cas (Оостерхоф 1957b). Тогда же Оостерхоф (1957a) выделил среди переменных типа  $\delta$  Цефея группу звезд с большим разбросом точек на фотоэлектрической фазовой кривой блеска, которые заподозрил в двойной периодичности. В эту группу им были включены 9 звезд, для семи из которых (U TrA, AP Vel, BK Cen, VX Pup, Y Car, AX Vel, GZ Car) двойная периодичность была подтверждена в следующие два десятилетия, для EY Car – подтверждена только в 2004 г. Для еще одной переменной из этого списка, UZ Car, наличие двойной периодичности не подтверждено до сих пор. Ефремов и Холопов (1975) обнаружили двойную периодичность цефеиды V367 Sct, члена рассеянного скопления NGC 6649, первой известной цефеиды с двойной периодичностью в рассеянном скоплении.

В дальнейшем, несмотря на целенаправленный поиск, число цефеид с двойной периодичностью F/1O росло довольно медленно: несколько новых переменных в десятилетие. Появление электронных архивов, находящихся в свободном доступе в сети Интернет (NSVS, ASAS-3), а также подробных фотометрических обзоров отдельных областей Галактики (OGLE-III) способствовало обнаружению цефеид F/1O.

На сегодняшний день известны 32 цефеиды с двойной периодичностью, пульсирующие в основной моде и первом оберitone (см. Таблица 4.1), в числе которых три звезды, отнесенные к этому типу переменности автором работы. В таблице даны обозначение переменной по каталогам, ссылка на публикацию, в которой была обнаружена двойная периодичность, периоды основной моды  $P_0$  и первого обертона  $P_1$  и их отношение  $P_1/P_0$ . Переменные в таблице расположены в порядке обнаружения двойной периодичности.

Таблица 4.1. Известные цефеиды F/IO.

№	Обозначение	Ссылка	$P_0$ , сут.	$P_1$ , сут.	$P_1/P_0$
1	TU Cas	Оостерхоф, 1957 b	2.1393	1.5183	0.7097
2	U Tra	Янсен, 1962	2.5684	1.8249	0.7105
3	AP Vel	Оостерхоф, 1964	3.1278	2.1998	0.7033
4	BK Cen	Леотта-Янин, 1967	3.1739	2.223	0.7004
5	VX Pup	Стоби, 1970	3.0109	2.139	0.7104
6	Y Car	Стоби, 1972	3.6398	2.5595	0.7032
7	AX Vel	Стоби и Хоурден, 1972	3.6732	2.5929	0.7059
8	V367 Sct	Ефремов и Холопов, 1975	6.2931	4.3847	0.6967
9	GZ Car	Стоби, 1976	4.1589	2.9337	0.7054
10	UZ Cen	Стоби, 1976	3.3344	2.3553	0.7064
11	BQ Ser	Сабадош, 1976	4.2707	3.0121	0.7053
12	AS Cas	Хенден, 1980	3.0247	2.1556	0.7127
13	EW Sct	Койперс, 1985	5.8232	4.0673	0.6985
14	V458 Sct	Антипин, 1997	4.84125	3.3853	0.6993
15	V825 Cas	Антипин, 1998	3.73425	2.65262	0.7103
16	DZ CMa	Бердников и Тернер, 1998	2.362896	1.700131	0.7195
17	EY Car	Вилс и Отеро, 2004	2.876	2.036	0.7079
18	V701 Car	Вилс и Отеро, 2004	4.089	2.869	0.7016
19	V1210 Cen	Вилс и Отеро, 2004	4.317	3.037	0.7035
20	BE Pup	Вилс и Отеро, 2004	2.87	2.048	0.7136
21	V901 Mon	Антипин, 2006	2.26571	1.61404	0.7124
22	NSV 24859	Тернер и др., 2009	5.4019	3.8011	0.7037
23	TYC 6849 00019 1	Хруслов, [5]	4.82201	3.37986	0.7009
24	V371 Per	Вилс и др., 2010	1.737082	1.270117	0.7312
25	OGLE-BLG-CEP-03	Сошински и др., 2011b	1.2356978	0.9053473	0.7327
26	OGLE-BLG-CEP-21	Сошински и др., 2011b	0.7785577	0.5709891	0.7334
27	FP CMa	Вилс (P. Wils), 2012, VSX	3.6950	2.6534	0.7181
28	OGLE-GD-CEP-0009	Пьетрукович и др., 2013	1.676337	1.2147165	0.7246
29	OGLE-GD-CEP-0012	Пьетрукович и др., 2013	0.6557404	0.5042110	0.7689
30	OGLE-GD-CEP-0016	Пьетрукович и др., 2013	2.649648	1.9627621	0.7408
31	GSC2.3 S8GA125608	Хруслов, [39]	0.423036	0.294286	0.6957
32	USNO-B1.0 0611-0636219	Хруслов, [39]	1.18129	0.832980	0.7051

## TYC 6849 00019 1

Переменность TYC 6849 00019 1 ( $\alpha = 17^{\text{h}} 52^{\text{m}} 58^{\text{s}}.14$ ,  $\delta = -27^{\circ} 36' 00''.5$ , J2000) была обнаружена в ходе проекта ASAS-3 (Поймански 2002), переменная была отнесена к цефеидам основной моды с периодом 3.3801 сут. Наш повторный анализ данных ASAS-3 позволил выявить у звезды двойную периодичность. Это стало возможным благодаря тому, что за несколько лет в базе данных ASAS-3 значительно увеличилось количество наблюдений этой переменной. Были получены следующие элементы изменения блеска:

$$\text{JD}(\text{max}) = 2453187.24 + 4^{\text{d}}.82201 \times E \text{ (основная мода);}$$

$$\text{JD}(\text{max}) = 2453185.60 + 3^{\text{d}}.37986 \times E \text{ (первый оберток).}$$

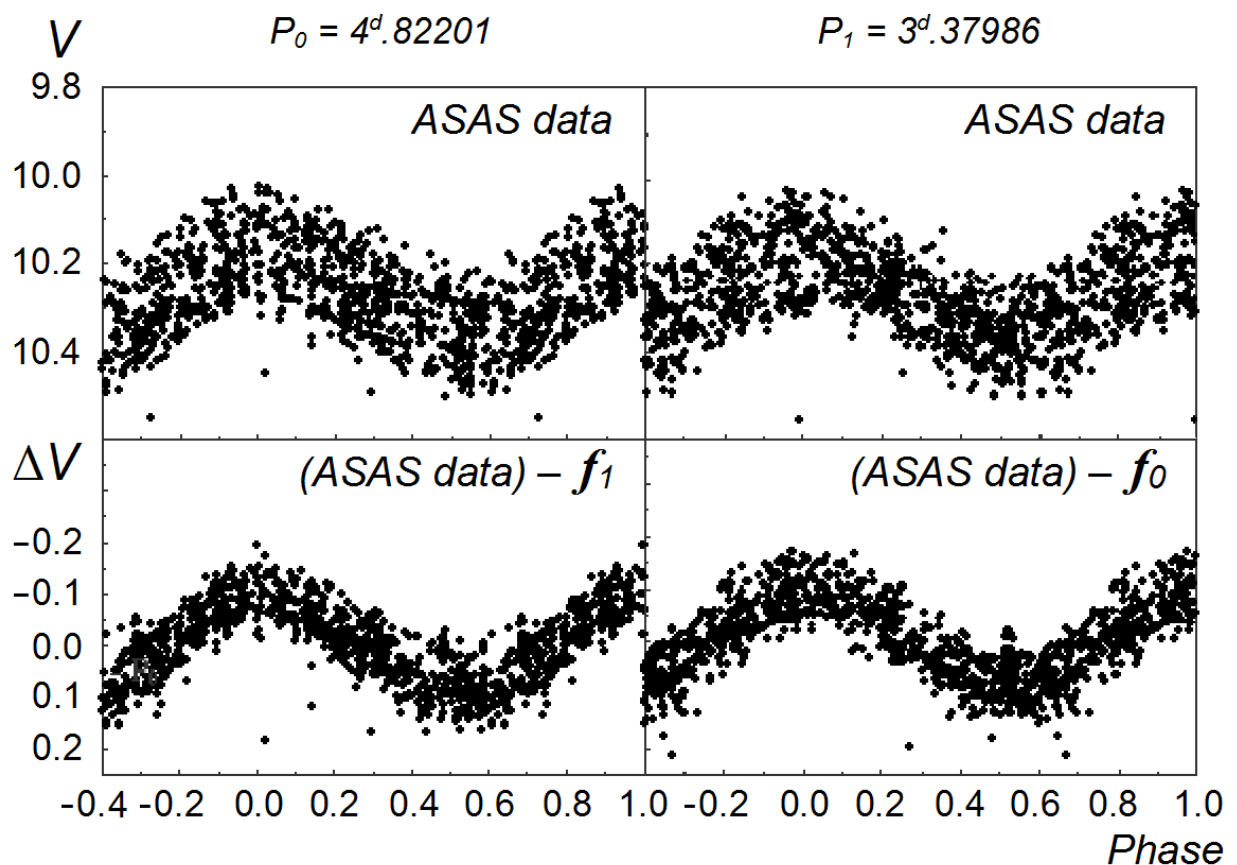


Рисунок 4.1. Кривые блеска TYC 6849 00019 1, цефеиды F/10 (по данным ASAS-3), [5].

Отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7009$  типично для цефеид с двойной периодичностью. Блеск меняется в пределах  $10^m.03 - 10^m.50$  ( $V$ ). Показатели цвета  $B - V = 1.523$  (Tycho2),  $J - H = 0.571$  (2MASS). Галактическая широта  $b = -0^\circ.70$ . Результат опубликован в нашей статье [5]. Кривые блеска TYC 6849 00019 1 приведены на рисунке 4.1.

### GSC2.3 S8GA125608

Переменность GSC2.3 S8GA125608 = OGLE-BLG-RRLYR-00293 ( $\alpha = 17^h 18^m 24^s.66$ ,  $\delta = -28^\circ 49' 52''.1$ , J2000) была открыта Сошински и др. (2011а). Переменная была классифицирована как звезда типа RRAB со следующими элементами изменения блеска:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2455000.13654 + 0^d.42303636 \times E.$$

Нами были повторно проанализированы данные OGLE-III и обнаружена вторая мода, соответствующая пульсациям в первом оберitone, а также частота взаимодействия  $f_1+f_0$  (кроме того, с большой вероятностью были обнаружены частоты  $f_1+2f_0$  и  $2f_0$ ). Элементы изменения блеска приведены в таблице 4.2. Кривые блеска приведены на рисунке 4.2.

Таблица 4.2. Элементы изменения блеска GSC2.3 S8GA125608.

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда, $I_c$ mag	Период, сут.	Эпоха, HJD
$f_0$	2.363865	0.1733	0.423036	2452500.419
$f_1$	3.398055	0.0452	0.294286	2452500.303
$f_1 + f_0$	5.761909	0.0164	0.1735536	2452500.340

Отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.6957$ . Блеск меняется в пределах  $16^m.29 - 16^m.78$  ( $I_c$ ).  $M-m = 0^P.33$  P (основная мода). Галактическая широта  $b = +5^\circ.046$ . Результат опубликован в статье [39].

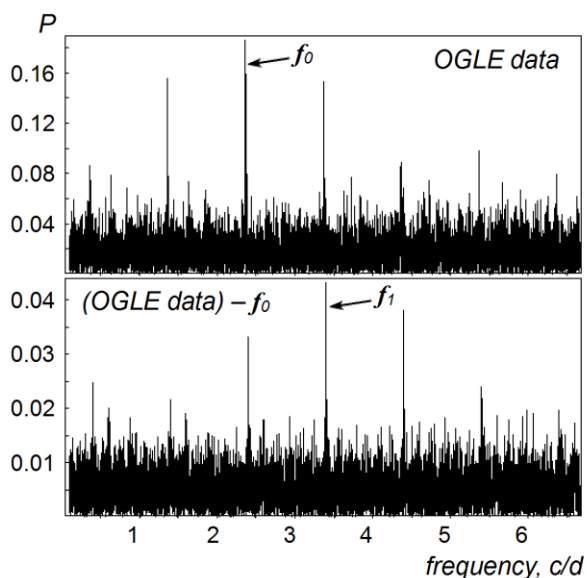
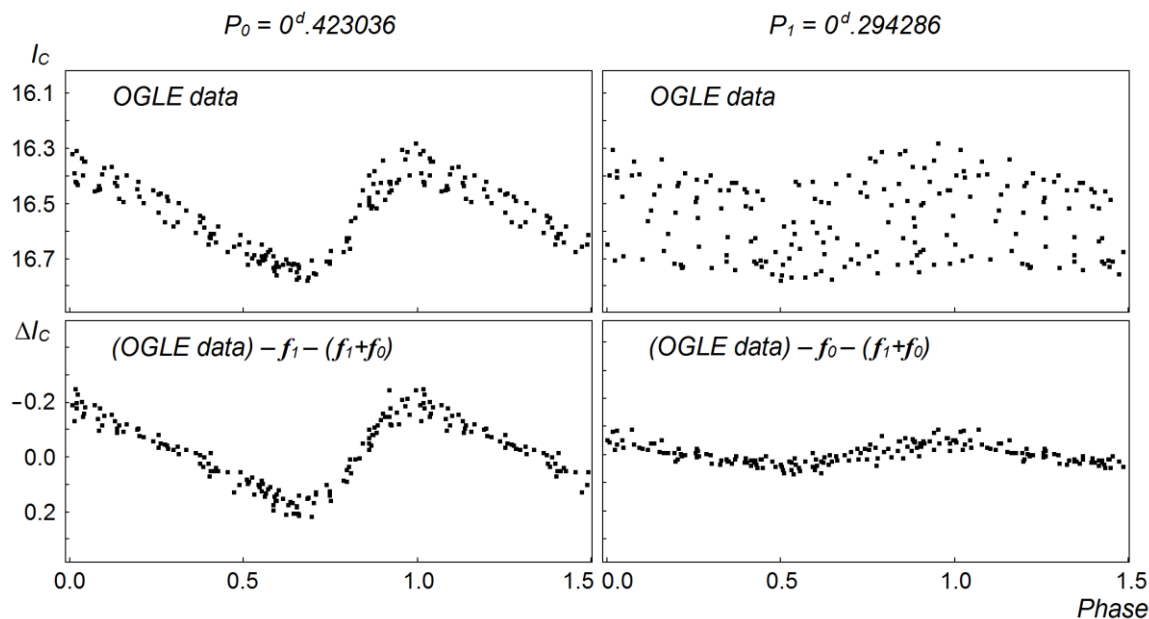


Рисунок 4.2. Кривые блеска и спектры мощности GSC2.3 S8GA125608, цефеиды F/10 (данные OGLE-III).

Необходимо отметить, что включение в число цефеид звезд с короткими периодами, по величине которых их обыкновенно относят к переменным типа RR Лиры (в том числе GSC2.3 S8GA125608), обусловлено как отношением периодов, более характерным для F/10 цефеид, так и тем, что в Галактике известны другие F/10 цефеиды с короткими периодами, например, OGLE-GD-CEP-0012 и OGLE-BLG-CEP-21 (см. таблицу 4.1, № 29 и № 26). Тем не менее,

пока нет полной уверенности в принадлежности GSC2.3 S8GA125608 к классу классических цефеид, так как отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.6957$  всё же несколько меньше, чем для других цефеид с достаточно короткими периодами.

### USNO-B1.0 0611-0636219

Переменность USNO-B1.0 0611-0636219 = OGLE-BLG-T2CER-209 ( $\alpha = 17^{\text{h}} 57^{\text{m}} 11^{\text{s}}.86$ ,  $\delta = -28^{\circ} 51' 48''.3$ , J2000) открыли Сошински и др. (2011b). Переменная была классифицирована как цефеида сферической составляющей Галактики (переменная типа BL Her) со следующими элементами изменения блеска:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2455000.14712 + 1^{\text{d}}.1812838 \times E.$$

Кроме того были выделены три вторичных колебания малой амплитуды (0.83298 сут., 0.48851 сут., 0.34559 сут.) о природе которых ничего не было сказано.

Мы повторно проанализировали те же самые данные OGLE-III. Переменная является цефеидой с двойной периодичностью. Выявленные ранее Сошински и др. (2011b) три дополнительных колебания соответствуют частоте первого обертона ( $f_1$ ) и двум частотам взаимодействия ( $f_1+f_0$  и  $f_1+2f_0$ ). Кроме этого, нами обнаружено еще восемь частот взаимодействия. Элементы изменения блеска всех найденных нами колебаний приведены в таблице 4.3. Кривые блеска USNO-B1.0 0611-0636219 приведены на рисунке 4.3.

Отношение периодов  $P_1/P_0 = 0.7051$ . Галактическая широта  $b = -2^{\circ}.142$ . Блеск меняется в пределах  $15^{\text{m}}.24 - 15^{\text{m}}.71$  ( $I_c$ ). При анализе данных OGLE нами были удалены наблюдения ночи JD 2454221, так как они имеют значительно бóльшую фактическую ошибку наблюдений. Результат опубликован в статье [39].

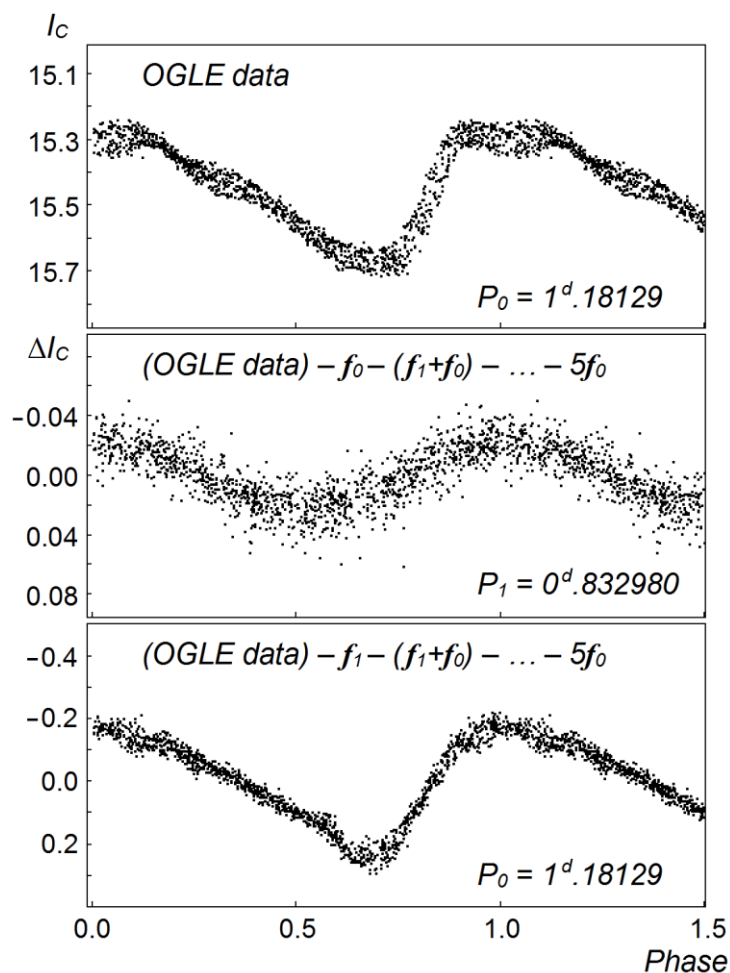


Рисунок 4.3. Кривые блеска USNO-B1.0 0611-0636219, цефеиды F/1O (данные OGLE-III). Вверху – исходные данные с периодом  $P_0$ ; в середине – колебание первого обертона при исключенных 11 других частотах; внизу – основная мода, все другие колебания исключены.

Таблица 4.3. Элементы изменения блеска USNO-B1.0 0611-0636219.

Мода	Частота, цикл/сут.	Полуамплитуда, $I_c$ mag	Период, сут.	Эпоха, HJD
$f_0$	0.846532	0.2080	1.18129	2453600.43
$f_1$	1.200509	0.0224	0.832980	2453600.197
$f_1 + f_0$	2.047041	0.0182	0.488510	2453600.180
$f_1 + 2f_0$	2.893594	0.0162	0.345591	2453600.240
$f_1 - f_0$	0.353950	0.0078	2.82526	2453601.39
$f_1 + 4f_0$	4.58665	0.0074	0.218024	2453600.433
$4f_0 - f_1$	2.185616	0.0047	0.457537	2453600.220
$4f_0$	3.386238	0.0035	0.295313	2453600.301
$3f_0 - f_1$	1.33912	0.0035	0.74676	2453600.11
$2f_0 - f_1$	0.492577	0.0034	2.03014	2453601.83
$5f_0 + f_1$	5.43319	0.0030	0.184054	2453600.240
$5f_0$	4.23268	0.0025	0.236257	2453600.301

## 4.2. Цефеиды первого и второго обертонов, 1O/2O

Первую цефеиду, пульсирующую одновременно в первом и втором обертонах, обнаружил в 1983 г. Мантегацца (1983). Это была CO Aur, которая долгое время после этого оставалась единственной известной 1O/2O цефеидой Галактики. Следующая такая переменная, V1048 Cen, была открыта только в 2002 году (Бельтрам и Поретти 2002). Еще позже, в 2009 г., была открыта двойная периодичность V767 Sgr и V363 Cas (Хайду и др. 2009).

С июня 2009 года по ноябрь 2012 года в электронном журнале Переменные звезды (Приложение) автором данной работы был опубликован ряд статей, содержащих открытия 1O/2O двойной периодичности следующих 12 цефеид, две из которых нами были первоначально классифицированы как переменные типа RR Лиры. Кроме того, в нашей статье [25] сообщалось об обнаружении еще двух цефеид с двойной периодичностью, MS Mus и TYC 8308 02055 1.

В ходе выполнения проекта OGLE-III обнаружено еще 7 переменных в центральных областях Галактики (Сошински и др. 2011a; Пьетрукович и др. 2013).

Список всех известных на сегодняшний день цефеид 1O/2O приведен в таблице 4.4.

Переменность первых семи найденных нами 1O/2O цефеид (GSC 4818-03792, TYC 7670 02632 1, GSC 9002-00686, TYC 0467 03223 1, GSC 0736-01231, GSC 0746-01186, GSC 6567-01616), а также TYC 5992 02251 1, TYC 0717 01091 1 и GSC 6558-01290 была обнаружена Поймански (2002). В каталоге ASAS они отнесены к цефеидам либо (переменные с короткими периодами) к звездам типа RR Лиры. Нами были повторно проанализированы данные ASAS-3 и обнаружены вторичные пульсации во втором обертоне.

Переменность QX Cam была обнаружена нами в ходе поиска новых переменных звезд по данным обзора NSVS, [1]. Первоначально мы



классифицировали QX Cam как короткопериодическую цефеиду сферической составляющей (из-за короткого периода и довольно большой галактической широты,  $b = +7^\circ.4$ ). Впоследствии при повторном тщательном анализе тех же данных обзора NSVS нами было обнаружено вторичное колебание (второй обертона).

Таблица 4.4. Цефеиды 1O/2O

№	Обозначение	Ссылка	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub>
1	CO Aur	Мантегацца, 1983	1.7841	1.4255	0.7990
2	V1048 Cen	Бельтрам и Поретти, 2002	0.922405	0.743241	0.8058
3	V767 Sgr	Хайду и др., 2009	0.670312	0.536335	0.8001
4	V363 Cas	Хайду и др., 2009	0.546556	0.438243	0.8018
5	GSC 4818-03792	Хруслов, [6]	0.87962	0.70772	0.8046
6	TYC 7670 02632 1	Хруслов, [6]	1.16662	0.939354	0.8052
7	GSC 9002-00686	Хруслов, [6]	0.91308	0.734376	0.8043
8	TYC 0467 03223 1	Хруслов, [6]	1.25771	1.01121	0.8040
9	GSC 0736-01231	Хруслов, [8]	1.06802	0.85905	0.8043
10	GSC 0746-01186	Хруслов, [8]	1.28861	1.03153	0.8005
11	GSC 6567-01616	Хруслов, [8]	0.457231	0.366105	0.8007
12	QX Cam	Хруслов, [11]	1.1133	0.8944	0.8034
13	TYC 5992 02251 1	Хруслов, [11]	0.736273	0.593216	0.8057
14	V1345 Cen	Хруслов, [11]	0.631272	0.506888	0.8030
15	TYC 0717 01091 1	Хруслов, [12]	0.3321423	0.2653979	0.7990
16	OGLE-BLG-CEP-04	Сошински и др., 2011a	0.2400460	0.1902514	0.7926
17	OGLE-BLG-CEP-09	Сошински и др., 2011a	0.2725666	0.2167213	0.7951
18	OGLE-BLG-CEP-19	Сошински и др., 2011b	0.2865322	0.2279652	0.7956
19	GSC 6558-01290	Хруслов, [19]	0.410127	0.328118	0.8000
20	MS Mus	Хруслов, [25]	1.39133	1.11914	0.8044
21	TYC 8308 02055 1	Хруслов, [25]	0.59828	0.47951	0.8015
22	OGLE-GD-CEP-0004	Пьетрукович и др., 2013	0.9119141	0.7343619	0.8053
23	OGLE-GD-CEP-0006	Пьетрукович и др., 2013	0.5339659	0.428888	0.8032
24	OGLE-GD-CEP-0014	Пьетрукович и др., 2013	0.847678	0.673577	0.7946
25	OGLE-GD-CEP-0018	Пьетрукович и др., 2013	0.7146608	0.5759099	0.8059
26	GSC 2901-00089	Хруслов, [25], [41]	0.533824	0.428983	0.8036
27	V470 Cas	Хруслов, [41]	0.87454	0.70217	0.8029

Переменность V1345 Cen была обнаружена Штромайером и др. (1964). В каталоге ASAS-3 (Поймански 2002) переменная отнесена в RRAB-звездам. Наш анализ данных ASAS-3 выявил моду второго обертона, [11].

GSC 6567-01616, TYC 0717 01091 1 и GSC 6558-01290 были первоначально нами классифицированы как звезды типа RR Лиры с двойной периодичностью, но то обстоятельство, что все они лежат вблизи плоскости Галактики (галактическая широта  $b$  равна  $+3^\circ.0$ ,  $-6^\circ.2$  и  $+2^\circ.0$  соответственно),

и что звезды типа RR Лиры 1O/2O не известны на больших расстояниях от нее, заставляет рассматривать эти переменные вместе с цефеидами 1O/2O. Кроме того, в Магеллановых Облаках проект OGLE-III выделил ряд цефеид 1O/2O с близкими короткими периодами. Также три переменные галактического балджа с еще более короткими периодами (0.24 – 0.29 сут.) отнесены Сошински и др. (2011a) и Сошински и др. (2011b) к цефеидам 1O/2O. В этой связи можно предположить, что к этой группе также относятся ещё две короткопериодические звезды: V1719 Cyg ( $P_1 = 0.2672971$  сут.,  $P_2/P_1 = 0.7998$ ,  $b = +2^\circ.6$ , тип RRC в ОКПЗ) и V798 Cyg ( $P_1 = 0.1947725$  сут.,  $P_2/P_1 = 0.8010$ ,  $b = +4^\circ.6$ ), морфологически сходные с цефеидами 1O/2O.

Таким образом, в Галактике сейчас известно 27 цефеид 1O/2O, из которых двойная периодичность нами была обнаружена у 16 (59% от общего числа). Найденные нами случаи создают статистический материал, позволяющий сравнивать цефеиды 1O/2O Галактики с цефеидами Магеллановых облаков, данные по которым получены в проекте OGLE-III.

### 4.3. ПЗС-наблюдения двух цефеид 1O/2O

Две цефеиды 1O/2O, GSC 2901-00089 и V470 Cas, были нами исследованы по полученным ПЗС-наблюдениям. Двойная периодичность у этих переменных была обнаружена или заподозрена по данным электронных архивов 1SWASP и NSVS. Для обеих звезд получена трёхполосная BVR фотометрия. Определены периоды пульсаций в первом и втором обертонах, выявлены частоты взаимодействия. Результат опубликован в arXiv, [41].

#### GSC 2901-00089

Переменность GSC 2901-00089 ( $\alpha = 04^h 45^m 23^s.89$ ,  $\delta = +42^\circ 55' 20''.0$ , J2000) обнаружили Гоффман и др. (2009) по данным ROTSE-I/NSVS (NSVS

4346946). Переменная была классифицирована как звезда типа RR Лиры (тип RR) с периодом 0.53391 сут.

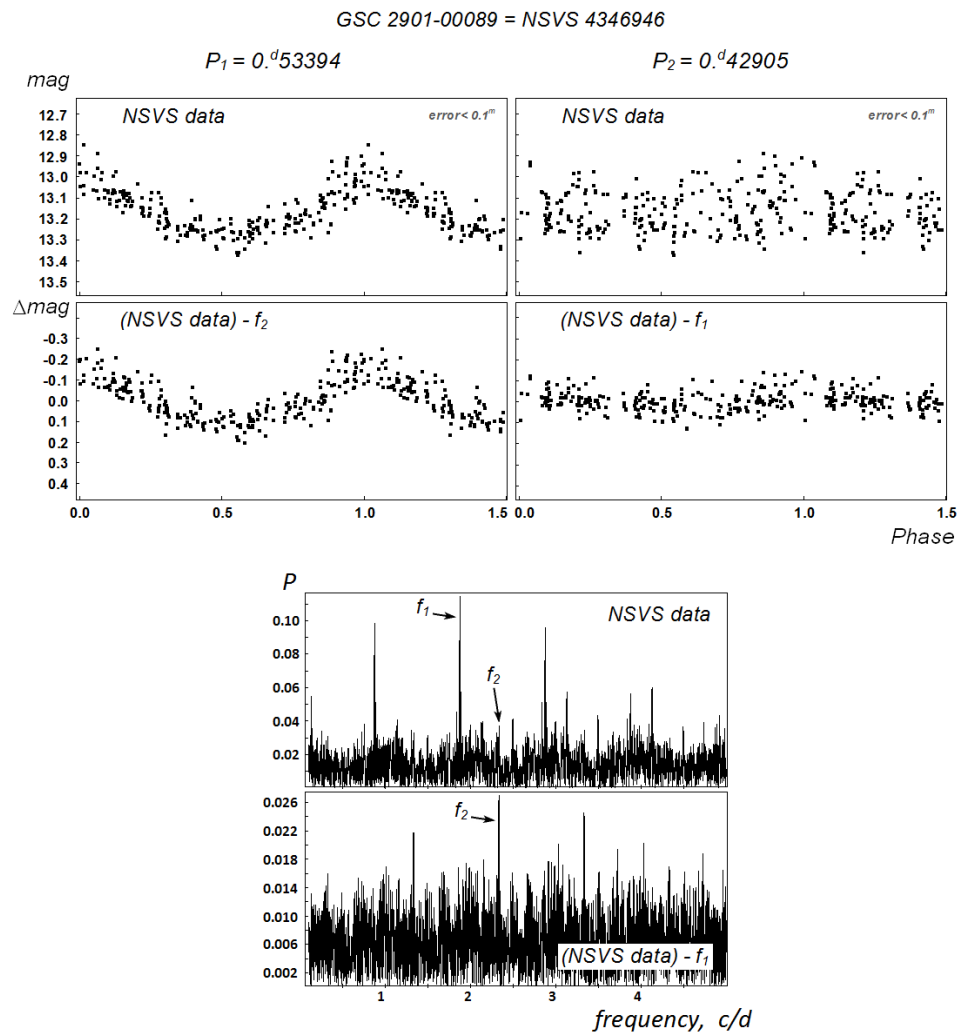


Рисунок 4.4. Кривые блеска и спектры мощности GSC 2901-00089 по данным NSVS.

Нами были проанализированы данные обзоров NSVS и 1SWASP. У переменной была обнаружена двойная периодичность, характерная для цефеид первого и второго обертонов (отношение периодов  $P_2/P_1 = 0.8036$ ). Классификацию подтверждает малая галактическая широта переменной ( $b = -1^\circ.7$ ), а также характерный показатель цвета  $J - K = 0.540$  (2MASS). Было опубликовано сообщение об обнаружении двойной периодичности в нашей статье [25], где были указаны новая классификация, периоды  $P_1$  и  $P_2$ , их

отношение  $P_2/P_1$ . Полностью элементы изменения блеска, а также кривые блеска не приводились.

Кривые блеска GSC 2901-00089 по данным NSVS и 1SWASP показаны на рисунках 4.4 и 4.5. В данных NSVS были использованы также данные “с флагами”, обычно не рекомендуемые для анализа, но при этом были удалены все данные с ошибками более  $0.^m1$ . В данных 1SWASP также были удалены все данные с ошибками более  $0.^m05$ .

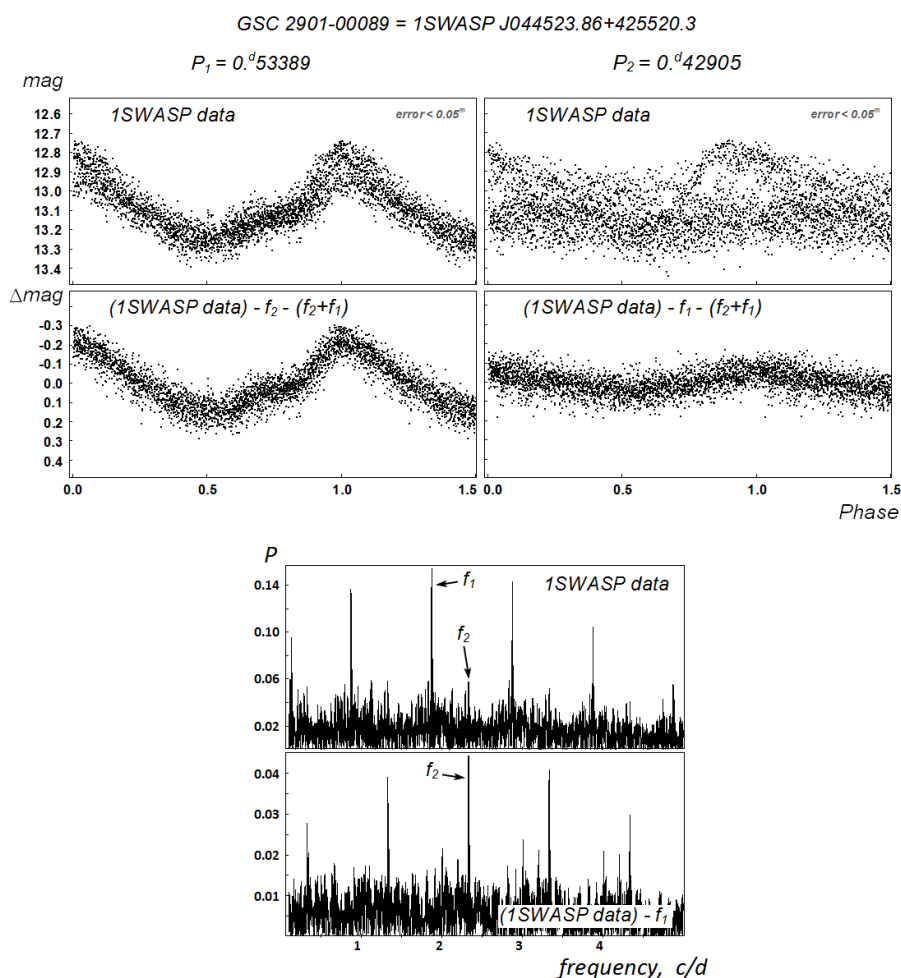


Рисунок 4.5. Кривые блеска и спектры мощности GSC 2901-00089 по данным 1SWASP.

Позже нами были проведены ПЗС-наблюдения GSC 2901-00089 в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$  системы Джонсона (использовался телескоп Zeiss-1000 Тянь-Шаньской обсерватории), которые полностью подтвердили наши выводы,

сделанные по данным электронных архивов. Нами также были выявлены две частоты взаимодействия двух основных мод:  $f_2 + f_1, f_2 - f_1$ .

Найденные элементы изменения блеска приведены в таблице 4.5. В таблице указаны фотометрические данные, период и эпоха первого обертона, период и эпоха второго обертона, а также периоды, соответствующие частотам взаимодействия  $f_2 + f_1, f_2 - f_1$ . Период и эпоха определялись для каждого ряда наблюдений отдельно.

Таблица 4.5. Элементы изменения блеска GSC 2901-00089.

Данные	$P_1$ , сут.	Epoch <sub>1</sub> , HJD	$P_2$ , сут.	Epoch <sub>2</sub> , HJD	$P_{2+1}$ , сут.	$P_{2-1}$ , сут.
NSVS	0.53394	2451450.380	0.42905	2451450.390	—	—
1SWASP	0.53389	2453700.227	0.42905	2453700.333	0.23796	—
ПЗС	0.533824	2456650.325	0.428983	2456650.288	0.237848	2.1843

Полуамплитуды изменения блеска для каждого найденного колебания во всех фотометрических полосах приведены в таблице 4.6. В таблице указаны фотометрическая полоса, полуамплитуды первого и второго обертонов, а также частот взаимодействия  $f_2 + f_1, f_2 - f_1$ . В последнем столбце (mag) указаны пределы изменения блеска (для полосы  $R$  дана полная амплитуда изменения блеска).

Таблица 4.6. Полуамплитуды и пределы изменения блеска GSC 2901-00089.

Полоса	$A_1$	$A_2$	$A_{2+1}$	$A_{2-1}$	mag
NSVS, $R$	0.119	0.029	—	—	12.9 – 13.35
1SWASP	0.179	0.044	0.017	—	12.74 – 13.37
$B$	0.2349	0.0418	0.0154	0.0115	13.98 – 14.63
$V$	0.1626	0.0289	0.0114	0.0094	13.11 – 13.54
$R$	0.1278	0.0209	0.0091	0.0075	0.34

На рисунке 4.6 показаны кривые блеска GSC 2901-00089 по ПЗС-наблюдениям в разных полосах.

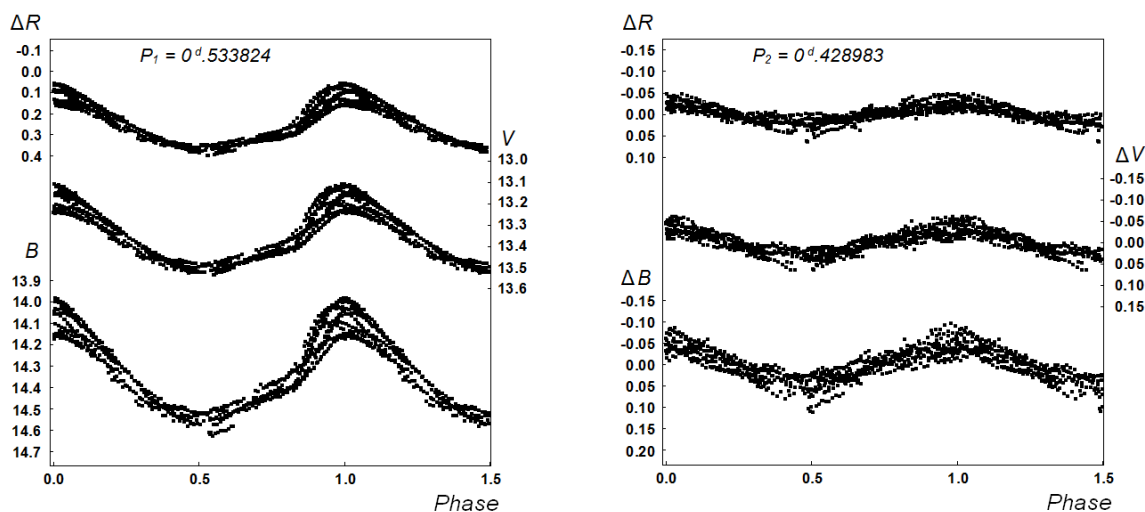


Рисунок 4.6. Кривые блеска GSC 2901-00089 по ПЗС-наблюдениям в полосах  $V$ ,  $B$  и  $R$ . Слева – исходные данные с периодом первого обертона  $P_1$ , справа – пульсации во втором оберitone при исключенных колебаниях первого обертона  $f_1$  и частот взаимодействия  $f_2 + f_1$  и  $f_2 - f_1$ .

Реальность колебания во втором оберitone подтверждается характерным спектром мощности, показанным на рисунке 4.7.

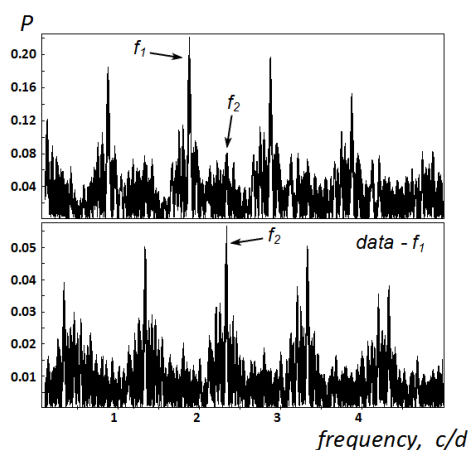


Рисунок 4.7. Спектры мощности GSC 2901-00089 по ПЗС-наблюдениям в полосе  $B$ . Вверху – по исходным данным, внизу – при исключенном колебании первого обертона.

Из таблицы 4.5 можно сделать вывод, что оба периода переменной с течением времени претерпевают заметные изменения, что показано графически на рисунке 4.8. В особенности это относится к периоду  $P_1$ , систематическое уменьшение которого не вызывает сомнений.

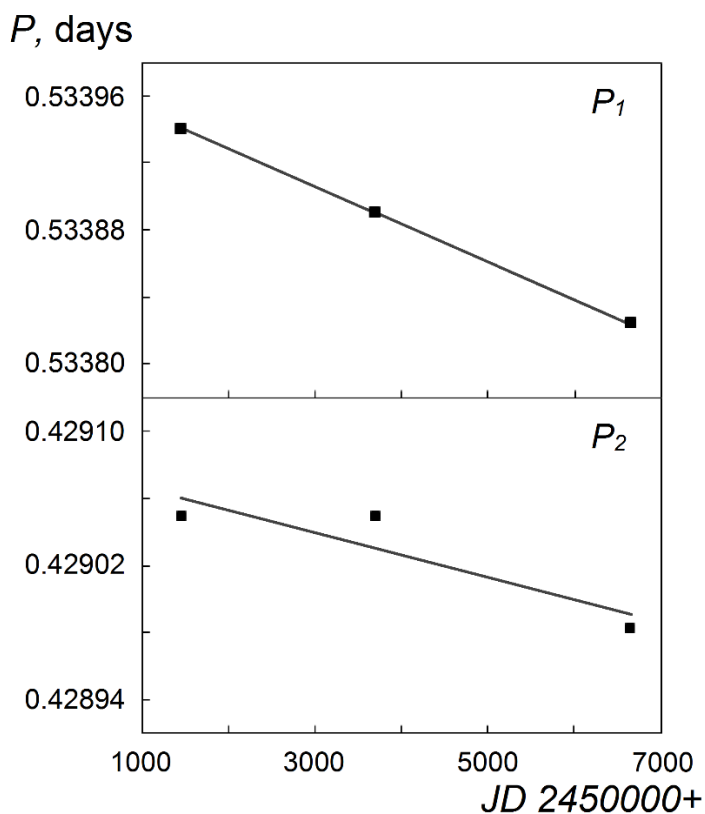


Рисунок 4.8. Изменение периодов GSC 2901-00089.

### V470 Cas

Переменность V470 Cas ( $\alpha = 01^{\text{h}} 32^{\text{m}} 18^{\text{s}}.16$ ,  $\delta = +56^{\circ} 29' 58''.0$ , J2000) была открыта Гофмейстером (1964), S8459. Звезда была классифицирована как короткопериодическая переменная (вероятная затменная), меняющая блеск в пределах  $12^{\text{m}}.5 - 13^{\text{m}}.0$ . Первое исследование изменений блеска V470 Cas было

выполнено Майнунгер (1968), она классифицировала звезду как затменную переменную со следующими элементами изменения блеска:

$$\text{MinI}(\text{JD}) = 2429231.369 + 0^{\text{d}}.444692 \times E.$$

Пределы изменения блеска  $13^{\text{m}}.0 - 13^{\text{m}}.5$ .

Гесснер и Майнунгер (1973) подтвердили, что данные представляются приведенными выше элементами, но с некоторой неопределенностью. Было получено 8 моментов минимумов блеска, указан тип E. На основе этой публикации переменная была включена в ОКПЗ.

Агерер и др. (1996) провели ПЗС-наблюдения V470 Cas, а также исследовали фотопластинки Sonneberg Sky Patrol. Было установлено, что на самом деле переменная не является затменной, а скорее всего принадлежит к звездам типа RR Лиры с довольно большим периодом и малой амплитудой блеска. Амплитуда в инструментальной системе (наблюдения без фильтра) составила  $0^{\text{m}}.35$ . Асимметрия кривой блеска оказалась недостаточно большой, более характерной для классических цефеид ( $M-m = 0^{\text{P}}.35$ ). На протяжении всего интервала наблюдений (фотографические наблюдения JD 2436200 – 2448862, ПЗС-наблюдения JD 2449170 – 2450013) период заметно изменился, поэтому были даны две системы элементов блеска:

для интервала JD 2436200 – 2445000:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2436200.588 + 0^{\text{d}}.874356 \times E;$$

для интервала JD 2445000 – 2450013:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2449170.518 + 0^{\text{d}}.8744654 \times E.$$

Двойная периодичность V470 Cas была нами заподозрена по данным NSVS и 1SWASP. Достаточно уверенно вторая частота выделяется по данным NSVS (при анализе были удалены все данные с ошибкой  $\text{err} > 0^{\text{m}}.05$ ), значительно хуже – по данным 1SWASP. Кривые блеска и спектры мощности по данным NSVS приведены на рисунке 4.9.



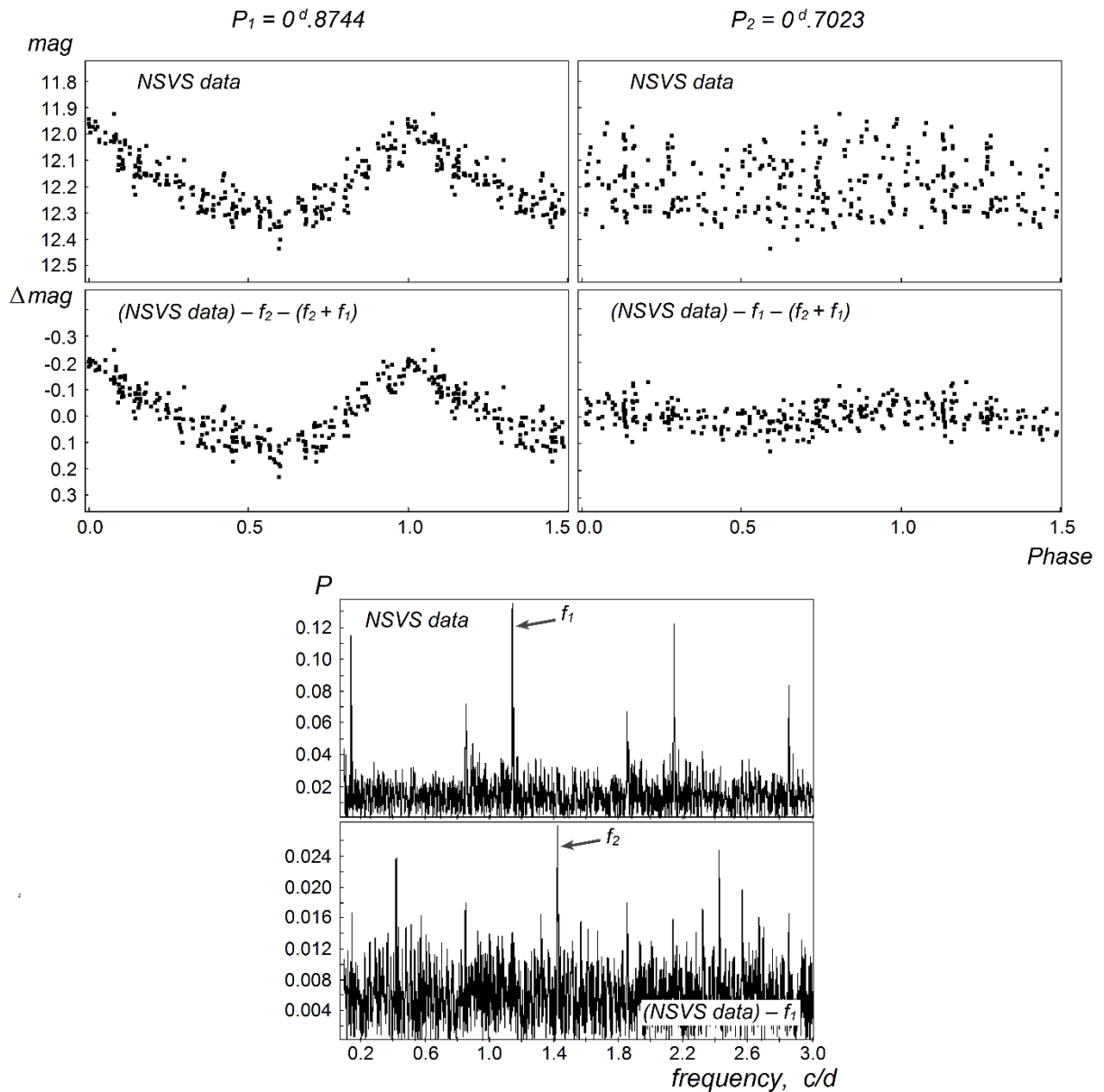


Рисунок 4.9. Кривые блеска и спектры мощности V470 Cas по данным NSVS.

Проведенные нами ПЗС-наблюдения V470 Cas полностью подтвердили это предположение: переменная является цефеидой с двойной периодичностью, пульсирующей в первом и втором обертонах. Отношение периодов  $P_2/P_1 = 0.8029$ . Элементы изменения блеска для всех рядов данных приведены в таблице 4.7. Кроме частот  $f_1$  и  $f_2$ , по ПЗС-наблюдениям нами также выявлена одна из частот взаимодействия  $f_2+f_1$  (последний столбец). Амплитуды и пределы изменения блеска приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.7. Элементы изменения блеска V470 Cas.

Данные	$P_1$ , сут.	Epoch <sub>1</sub> , HJD	$P_2$ , сут.	Epoch <sub>2</sub> , HJD	$P_{2+1}$ , сут.
NSVS	0.8744	2451510.732	0.7023	2451510.914	—
1SWASP	0.8745	2454390.438	0.7025	2454390.425	—
ПЗС	0.87454	2456789.16	0.70217	2456789.67	0.389467

Таблица 4.8. Полуамплитуды и пределы изменения блеска V470 Cas.

Полоса	$A_1$	$A_2$	$A_{2+1}$	mag
NSVS, $R$	0.137	0.026	—	11.95 – 12.40
1SWASP	0.189	0.015	—	11.92 – 12.42
$B$	0.3327	0.0364	0.0176	12.82 – 13.54
$V$	0.2447	0.0252	0.0116	12.03 – 12.58
$R$	0.1910	0.0185	0.0092	0.42

Наблюдения проводились при помощи телескопа Zeiss-1000, в стандартных полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$  системы Джонсона. Звезда сравнения GSC 3678-00722 ( $B = 14^m.755$ ,  $V = 13^m.937$  по данным APASS), контрольная звезда GSC 3678-01408. Так как наблюдения были проведены недостаточно однородно по времени с экспозициями разной длительности, они были усреднены за равные временные промежутки (каждая точка является средним по 3–6 отдельным наблюдениям), что также повысило точность фотометрии.

Классификацию подтверждает малая галактическая широта переменной ( $b = -5^\circ.9$ ), а также характерные показатели цвета  $J-K = 0.48$  (2MASS),  $B-V = 0.94$  (Tycho2),  $B-V = 0.84$  (APASS).

Кривые блеска V470 Cas по ПЗС-наблюдениям в разных полосах показаны на рисунке 4.10. Реальность колебания во втором обертоне подтверждается характерным спектром мощности, см. рисунок 4.11.

Изменения периода первого обертона  $P_1$  могут быть представлены квадратичной зависимостью, см. O–C диаграмму на рисунке 4.12, что

характерно для вековых изменений периода классических цефеид. На рисунке даны линейные элементы изменения блеска для середины ряда наблюдений.

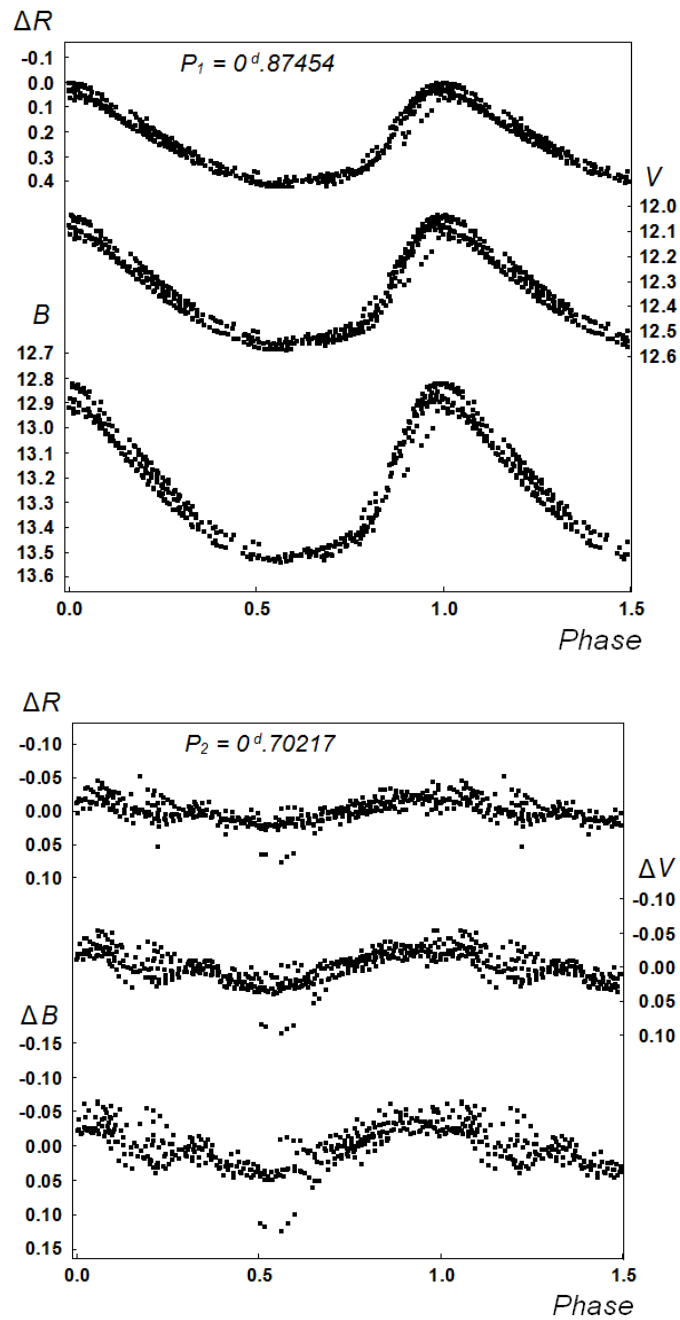


Рисунок 4.10. Кривые блеска V470 Cas по ПЗС-наблюдениям в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$ . Вверху – исходные данные с периодом первого обертона  $P_1$ , внизу – пульсации во втором оберitone при исключенных частотах  $f_1$  и  $f_2 + f_1$ .

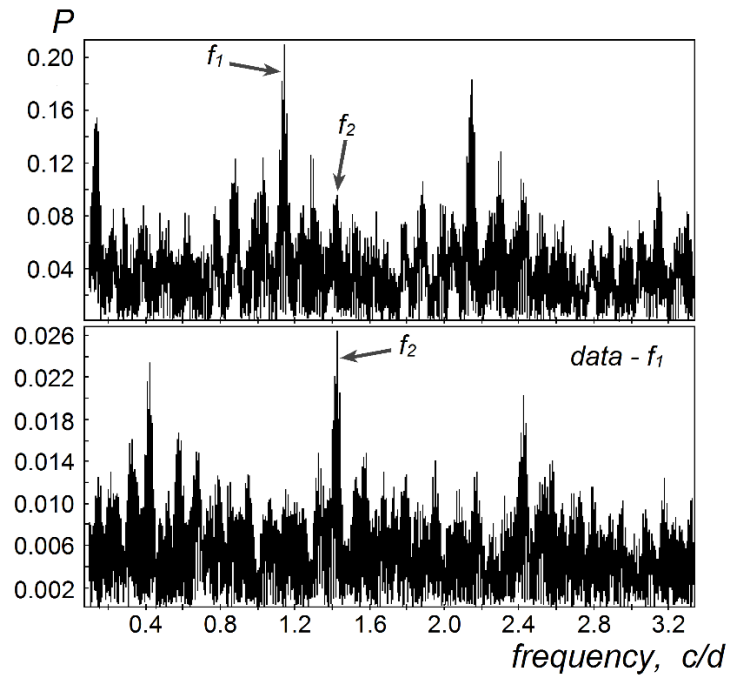


Рисунок 4.11. Спектры мощности V470 Cas по ПЗС-наблюдениям в полосе V. Вверху – по исходным данным, внизу – при исключенном колебании первого обертона.

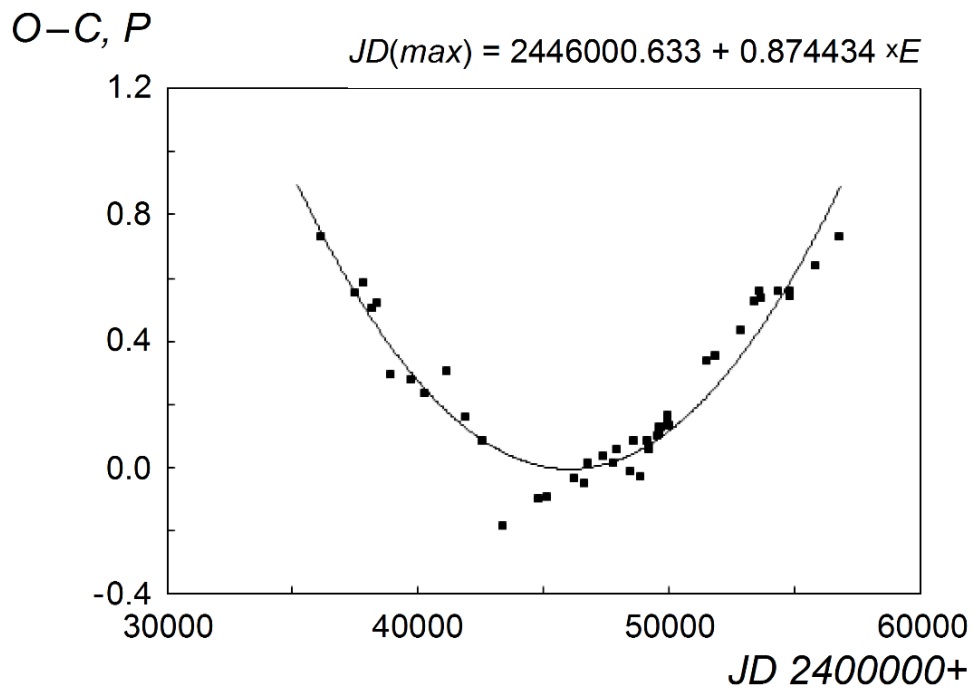


Рисунок 4.12. O–C диаграмма для периода первого обертона V470 Cas.

Все использованные при построении O–C диаграммы моменты максимумов блеска и ссылки на источники, из которых они были взяты, приведены в таблице 4.9. Это главным образом данные фотографических и ПЗС-наблюдений из работы Агерера и др. (1996), а кроме того, моменты максимумов из публикаций в IBVS немецкого общества наблюдателей переменных звезд BAV и определенные нами по данным NSVS, 1SWASP и нашим ПЗС-наблюдениям.

Таблица 4.9. Моменты максимумов блеска V470 Cas.

No.	HJD, 2400000+	Ссылка	No.	HJD, 2400000+	Ссылка
1	36200,613	1	24	49170,529	1
2	37558,455	1	25	49213,36	1
3	37871,528	1	26	49226,467	1
4	38233,474	1	27	49588,520	1
5	38413,621	1	28	49644,491	1
6	38974,812	1	29	49658,5005	1
7	39765,286	1	30	49659,3690	1
8	40318,762	1	31	49693,478	1
9	41192,386	1	32	49978,561	1
10	41897,052	1	33	49979,449	1
11	42631,510	1	34	50013,525	1
12	43431,382	1	35	51510,732	9, NSVS
13	44816,563	1	36	54390,438	9, 1SWASP
14	45204,812	1	37	51867,515	2
15	46271,676	1	38	52898,547	3
16	46648,542	1	39	53388,308	4
17	46763,152	1	40	53651,543	5
18	47392,762	1	41	53659,390	5
19	47776,617	1	42	54815,399	6
20	47939,302	1	43	54829,402	7
21	48503,249	1	44	55859,555	8
22	48600,399	1	45	56789,160	9, CCD
23	48862,626	1			

Ссылки: 1 – Агерер и др. (1996); 2 – Агерер и Хюбшер (2002); 3 – Хюбшер (2005); 4 – Хюбшер и др. (2005); 5 – Хюбшер и др. (2006); 6 – Хюбшер и др. (2009); 7 – Хюбшер и др. (2010); 8 – Хюбшер и Леман (2012); 9 – [41].

#### 4.4 Диаграмма Петерсена для цефеид Галактики

Результаты наших исследований цефеид с двойной периодичностью, описанные в трёх предыдущих разделах этой главы, графически представлены на рисунке 4.13. Показана диаграмма Петерсена, на которой обозначены все известные на данный момент цефеиды с двойной и множественной периодичностью.

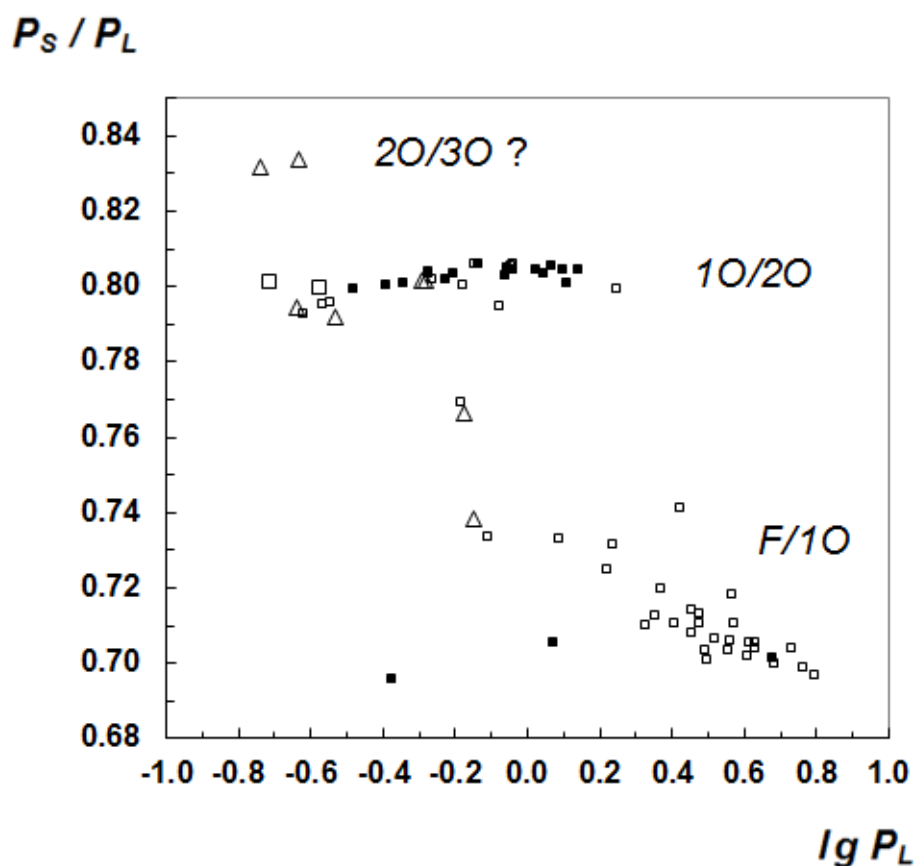


Рисунок 4.13. Диаграмма Петерсена для цефеид Галактики с двойной периодичностью. Незаполненные значки — известные переменные; заполненные значки — двойная и множественная периодичность найдена автором работы; квадраты — цефеиды с двойной периодичностью; треугольники — цефеиды с тройной периодичностью. Два крупных незаполненных квадрата — HADS(B)-звезды V798 Cyg и V1719 Cyg.

При сравнении диаграмм Петерсена для Галактики и БМО заметно существенное их различие, см. рисунок 4.14. Цефеиды 1О/2О Галактики располагаются заметно ниже и немного правее. Такое различие, вероятно, является следствием различия металличности цефеид двух систем.

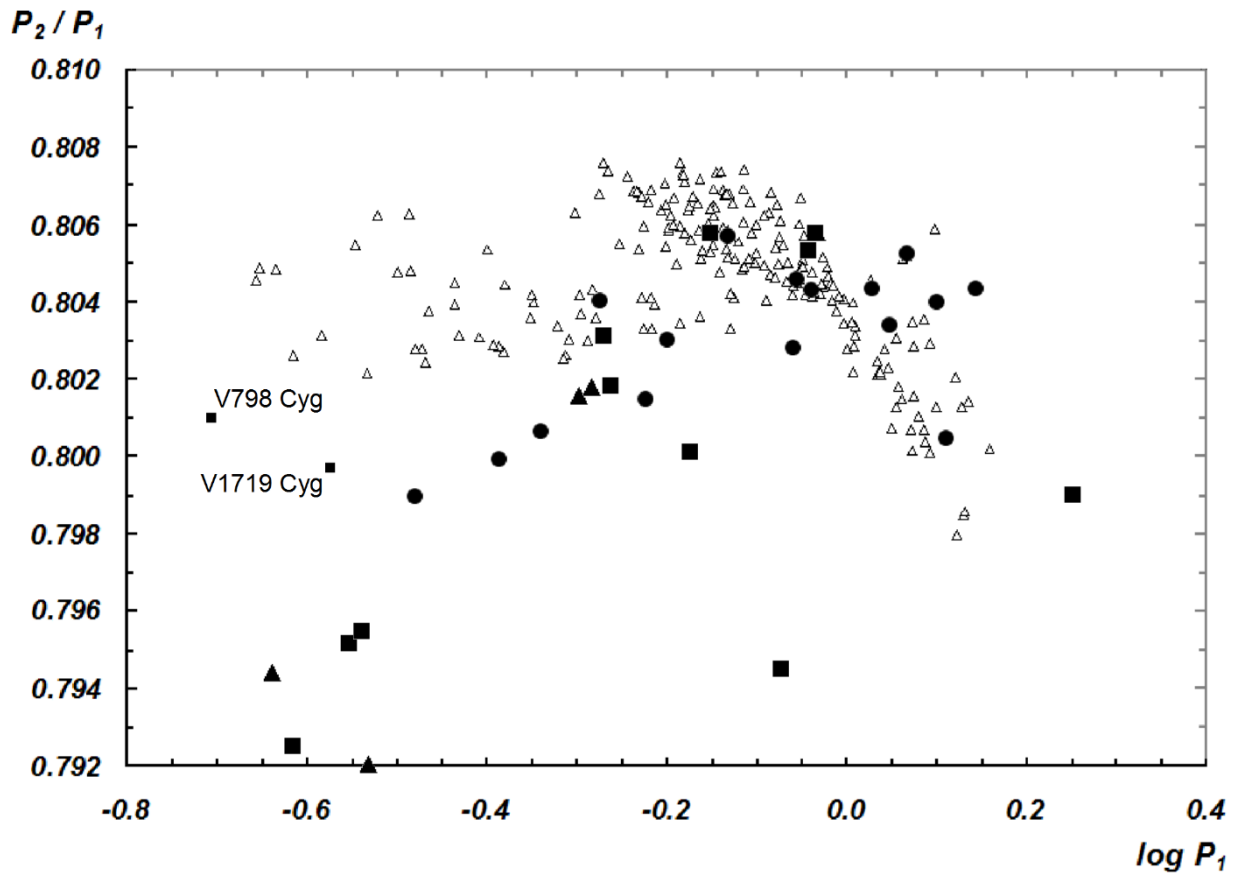


Рисунок 4.14. Диаграмма Петерсена для цефеид 1О/2О Галактики и БМО. Цефеиды БМО – пустые треугольники (по данным OGLE-III); цефеиды Галактики: найденные нами – черные кружки, другие – заполненные квадраты, цефеиды с тройной периодичностью – заполненные треугольники. Кроме того, на графике обозначены две HADS(B)-звезды 1О/2О в Лебеде.

## Глава 5. Другие типы двойной и множественной периодичности

Кроме рассмотренных выше звезд типов CEP(B), RR(B) и HADS(B), нами обнаружена двойная периодичность у ряда переменных других типов, которая как связана с пульсациями, так и имеет неп пульсационную природу.

### 5.1 Пульсирующие звезды в затменных системах

Две переменные выделены нами как пульсирующие переменные в затменных системах – GSC 1374-01131 и V1135 Her. Кривые блеска таких переменных определяются наложением друг на друга пульсационной и затменной составляющих. Характерными признаками, по которым можно выявлять подобные системы, являются как заметное рассеяние на кривой блеска (либо “размытие” затменной кривой блеска, либо систематическое “выпадение” точек на пульсационной кривой блеска), так и существенное занижение амплитуды изменения блеска пульсирующей переменной из-за вклада второго компонента системы в суммарный блеск.

Пульсирующие звезды в затменных системах представляют значительный астрофизический интерес. Их изучение, фотометрическое и спектроскопическое, даёт возможность наиболее полного определения геометрических и физических параметров двойной системы и, в особенности, её компонентов (например, классических цефеид).

В последнее время, главным образом благодаря автоматическим обзорам, найден ряд таких переменных. Несколько случаев цефеид типа  $\delta$  Цефея и W Девы в затменных системах открыты в проекте OGLE-III в Большом и Малом Магеллановых Облаках (Сошински и др. 2008a; Сошински и др. 2008b; Сошински и др. 2010a; Сошински и др. 2010c). В Галактике известен случай TYC 1031 01262 1, цефеиды сферической составляющей в затменной системе (Антипин и др. 2007). Также в проекте OGLE-III обнаружено по одному случаю звезд типа RR Лиры в затменных системах в



Большом Магеллановом Облаке и балдже Галактики (Сошински и др. 2009; Сошински и др. 2011a). Среди звезд типа  $\delta$  Щита в затменных системах в Галактике известны главным образом малоамплитудные звезды типа DSCTC. Звезд типа  $\delta$  Щита высокой амплитуды (HADS) в затменных системах известно всего несколько – это, например, V1264 Cen (Кристиансен и др. 2007) и USNO-A2.0 1350-17086180 (Соловьёв и др. 2013).

### GSC 1374-01131

О переменности GSC 1374–01131 = VSX J074722.4+220414 ( $\alpha = 07^{\text{h}} 47^{\text{m}} 22^{\text{s}}.47$ ,  $\delta = +22^{\circ} 04' 14''0$ , J2000) в 2011 году сообщили Роланд и др. (S. Roland, N. Martinez, and S. Bruzzone) в базе данных по переменным звездам AAVSO Variable Star Index (VSX; [www.aavso.org/vsx/](http://www.aavso.org/vsx/)). По наблюдениям одной ночи звезда была отнесена к HADS-звездам, были определены следующие элементы изменения блеска:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2454846.73 + 0^{\text{d}}.08 \times E.$$

Нами звезда исследована по данным Catalina Surveys (Дрейк и др. 2009), CSS J074722.5+220413. Используя эти данные, мы уточнили период пульсаций GSC 1374–01131 и выявили затменную составляющую кривой блеска, см. [24]. Таким образом, звезда может быть отнесена к типу переменных типа  $\delta$  Щита с большой амплитудой в затменных системах, HADS+EA. В действительности полная амплитуда изменения блеска пульсирующей компоненты должна быть значительно больше наблюдаемой ( $0^{\text{m}}.2$ ), так как измеряется суммарный блеск системы, что позволяет с уверенностью отнести пульсирующую компоненту к типу HADS. Элементы изменения блеска пульсирующей и затменной компонент приведены ниже:

$$\text{HJD}(\text{max}) = 2454846.734 + 0^{\text{d}}.0849458 \times E \text{ (пульсирующая компонента);}$$

$$\text{JD}(\text{min}) = 2455004.25 + 5^{\text{d}}.9688 \times E \text{ (затменная компонента).}$$

Затменная кривая характерна для систем типа Алголя, вероятно, с небольшими вариациями блеска в максимуме. Кривые блеска GSC 1374-01131 по данным CSS представлены на рисунке 5.1.

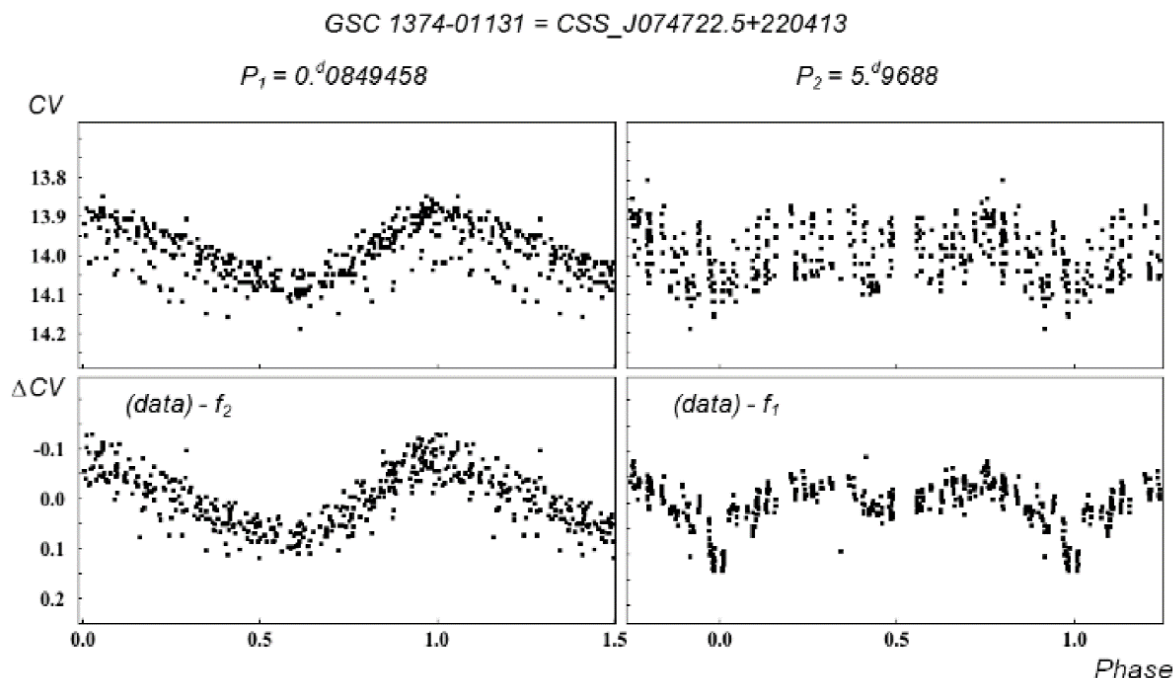


Рис. 5.1. Кривые блеска GSC 1374-01131 по данным обзора CSS.

Использование других доступных электронных архивов не позволило обнаружить переменность GSC 1374–01131: в данных NSVS и SuperWASP измерен суммарный блеск переменной вместе с двумя значительно более яркими соседними звездами, в ASAS-3 их влияние не заметно, но слишком велики ошибки наблюдений.

Позже (JD 2456366 – 2456782) нами были проведены ПЗС-наблюдения GSC 1374–01131 в полосах *B*, *V* и *R* системы Джонсона (использовался телескоп Zeiss-1000 Тянь-Шаньской обсерватории), которые полностью подтвердили наши выводы, сделанные по данным электронных архивов. Всего получено в полосе *B* 792, в полосе *V* 823, в полосе *R* 843 измерения блеска. По

этим данным нами уточнены элементы обеих составляющих переменности блеска системы:

$$\text{HJD}(\max) = 2456669.3296 + 0^{\text{d}}.08494573 \times E \text{ (пульсирующая компонента);}$$

$$\text{HJD}(\min) = 2456669.480 + 5^{\text{d}}.96857 \times E \text{ (затменная компонента).}$$

Кривые блеска GSC 1374–01131 по ПЗС-наблюдениям в разных полосах с периодами пульсационной и затменной составляющих приведены на рисунках 5.2 и 5.3.

Фотометрические характеристики GSC 1374–01131 приведены в таблице 5.1, где указаны фотометрическая полоса, полуамплитуды пульсирующей составляющей, полная амплитуда затменной компоненты, глубина главного затмения и пределы изменения блеска (для полосы  $R$  дана полная амплитуда изменения блеска).

Таблица 5.1. Амплитуды и пределы изменения блеска GSC 1374–01131.

Полоса	Полуамплитуда пульсир.	Полная амплитуда затм.	Глубина затмения I	mag
$B$	0.1489	0.17	0.14	$14^{\text{m}}.33 - 14^{\text{m}}.85$
$V$	0.1052	0.18	0.14	$13^{\text{m}}.95 - 14^{\text{m}}.37$
$R$	0.0771	0.19	0.13	$0^{\text{m}}.38$

Затменная составляющая имеет кривую блеска типа Алголя. Продолжительность главного затмения по нашим наблюдениям составляет  $d = 0^{\text{P}}.07$  (в долях периода). Глубина главного затмения одинакова во всех полосах. Заметен также небольшой вторичный минимум. Вне затмений в максимуме блеска, вероятно, блеск немного меняется.

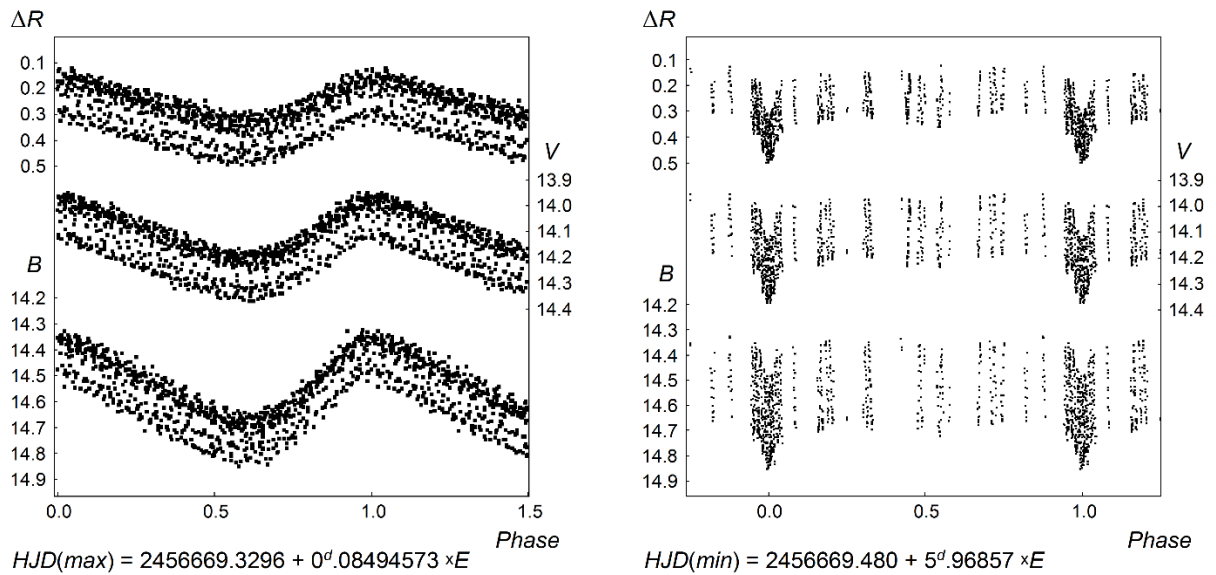


Рисунок 5.2. Фазовые кривые блеска GSC 1374–01131 по ПЗС-наблюдениям в полосах *B*, *V* и *R*, исходные данные. Слева – свернуто с периодом пульсационной составляющей  $P_{puls}$ , справа – с периодом затменной составляющей  $P_{ecl}$ .

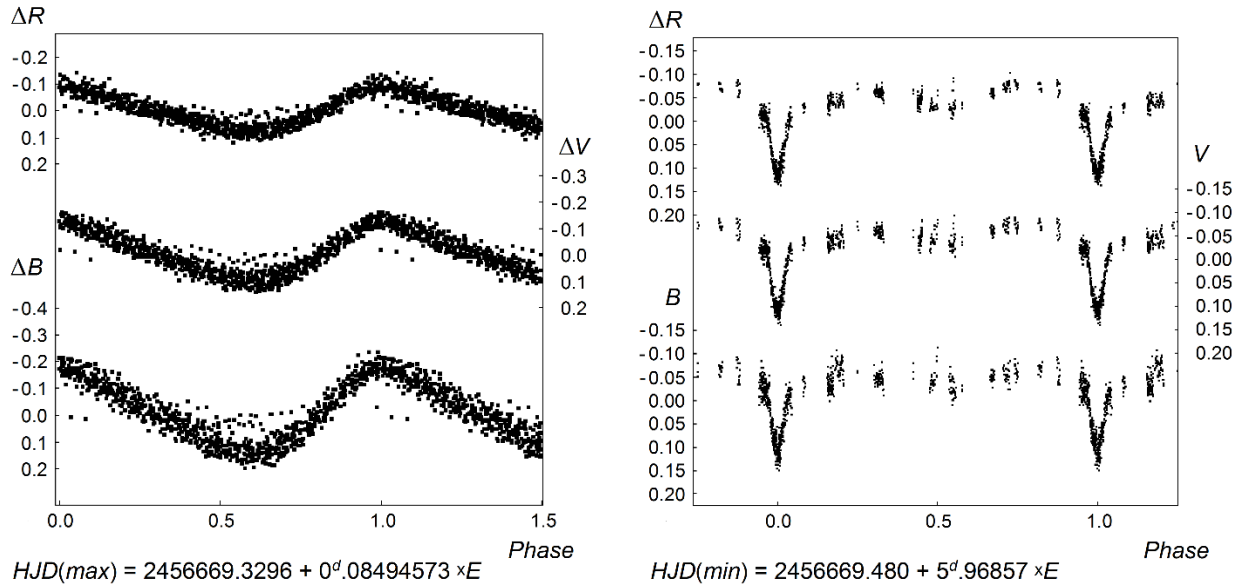


Рисунок 5.3. Фазовые кривые блеска GSC 1374–01131 по ПЗС-наблюдениям в полосах *B*, *V* и *R*, второй период исключён. Слева – пульсационная составляющая, справа – затменная составляющая.

На рисунке 5.4 отдельно показан главный минимум в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$ .

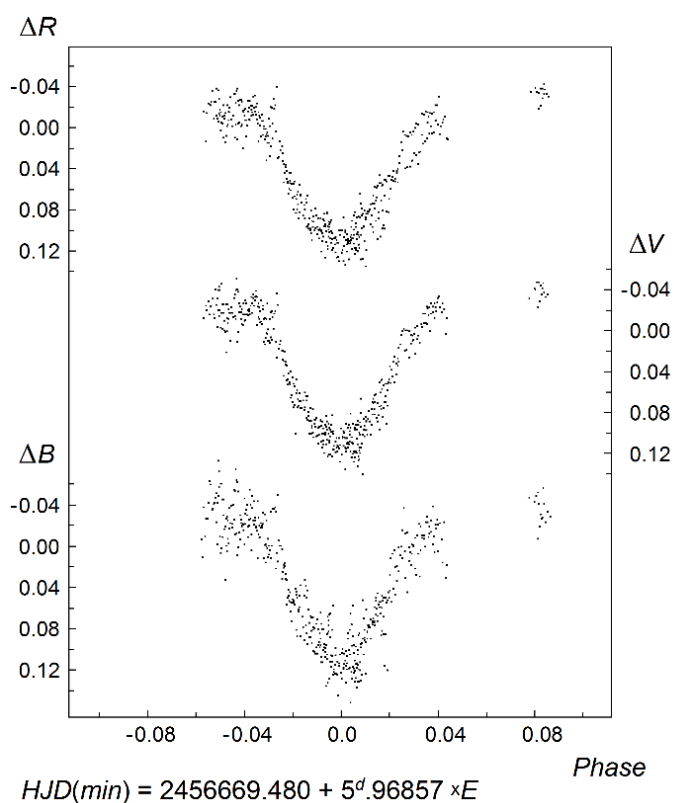


Рисунок 5.4. Главный минимум затменной составляющей GSC 1374–01131 по ПЗС-наблюдениям в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$ .

GSC 1374–01131 имеет небольшую амплитуду главного затмения, сравнимую с амплитудой пульсационной составляющей ( $MinI = 0.^m14$ , дополнительные вариации блеска в максимуме около  $0.^m1$ ). Другие известные затменные системы с HADS-компонентом имеют значительно большие амплитуды затмений: V1264 Cen имеет амплитуду затмения  $A_{ecl} = 1.^m75$  при амплитуде пульсаций  $A_{puls} = 0.^m2$  (Кристиансен и др. 2007); открытая несколько позже USNO-A2.0 1350-17086180 (Соловьёв и др. 2013) имеет амплитуду главного затмения  $A_{ecl} = 0.^m27$ . Таким образом, среди звезд типа HADS в затменных системах GSC 1374–01131 пока имеет наименьшую амплитуду затмений.

## V1135 Her

Переменность V1135 Her = NSV 10993 = S 4320 = GSC 1032-01378 была открыта Гоффмейстером (1949). Позднее звезду исследовали Гётц и Венцель (1956). В обеих статьях авторы относят звезду к затменным переменным, вероятный тип W UMa. Согласно Отеро и Вилсу (2005), NSV 10993 является затменной типа Алголя со следующими элементами изменения блеска:

$$\text{HJD}(\text{MinI}) = 2451448.350 + 40^{\text{d}}.0 \times E.$$

Отеро и Вилс (2005) в своей работе использовали данные обзоров NSVS и ASAS-3. Опубликованная ими кривая блеска показывает довольно большое рассеяние точек, не характерное для довольно яркой звезды, что позволяет предполагать дополнительные периодические или непериодические компоненты в вариациях блеска.

Нами переменная повторно исследована по данным NSVS и ASAS-3 (NSVS 10974803, NSVS 11094130 и ASAS 183213+1217.1), найдена накладывающаяся на затменную кривую блеска пульсационная составляющая. Результат опубликован в нашей статье [4]. Элементы изменения блеска затменной и пульсационной составляющих приведены ниже:

$$\text{JD}(\text{MinI}) = 2451448.67 + 40^{\text{d}}.0 \times E \text{ (затменная компонента);}$$

$$\text{JD}(\text{Max}) = 2451413.280 + 4^{\text{d}}.2243 \times E \text{ (пульсационная компонента).}$$

Кривая блеска приведена на рисунке 5.5 (по данным обзора NSVS). Кривая блеска пульсационной компоненты имеет довольно большую асимметрию, характерную для цефеид. Затменная кривая имеет форму, характерную для звезд типа  $\beta$  Лиры (EB). Данные ASAS-3 не противоречат такой интерпретации. Пределы изменения блеска  $12^{\text{m}}.6 - 13^{\text{m}}.2$  (R, NSVS) и  $12^{\text{m}}.55 - 13^{\text{m}}.05$  (V, ASAS-3).

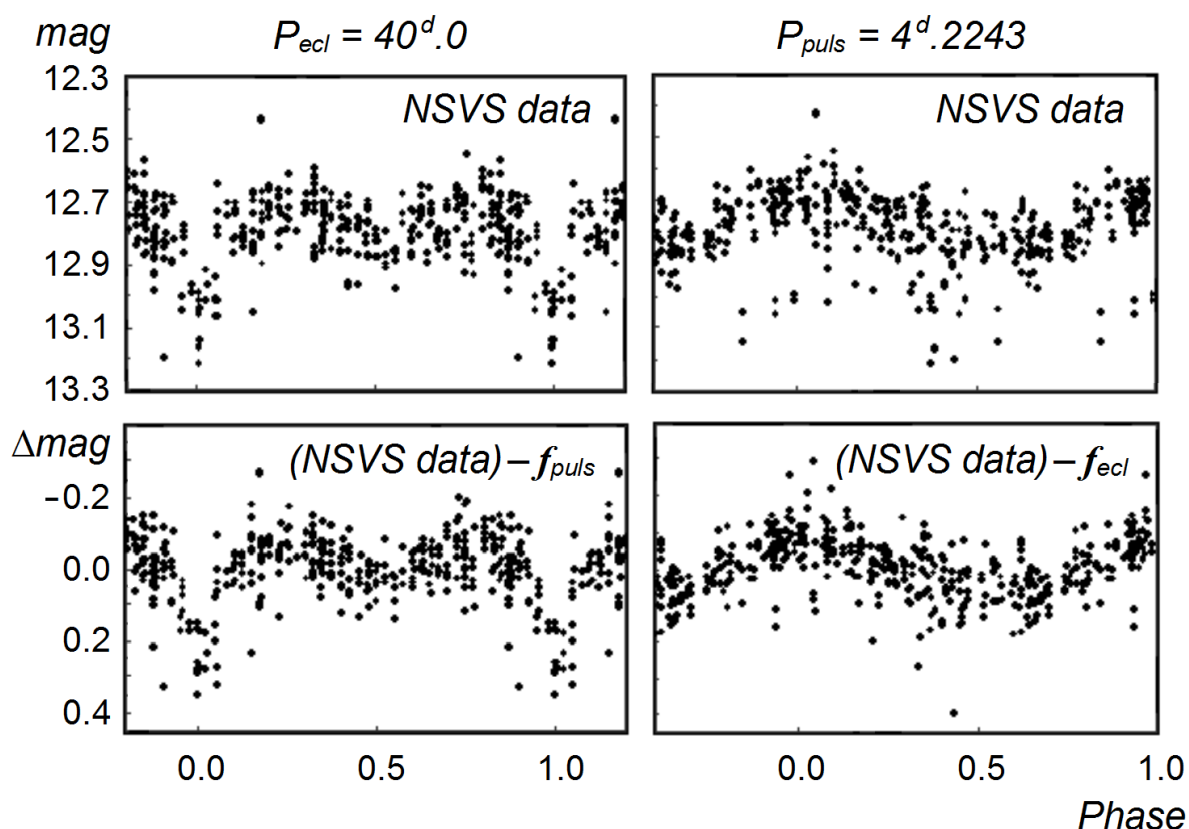


Рис. 5.5. Кривые блеска V1135 Her по данным обзора NSVS.

Позднее переменная была исследована Сипахи и др. (2013) по собственным ПЗС-наблюдениям в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$ , а также спектральным наблюдениям. Наши выводы были полностью подтверждены. Выяснилось, что более массивный компонент системы – цефеида - по массе и размерам несколько отличается от других цефеид сферической составляющей, и было предложено классифицировать ее как аномальную цефеиду. Авторами данной работы были определены следующие характеристики двойной системы:  $P_{ecl} = 39^d.99782$ ,  $P_{puls} = 4^d.22433$ ; масса и радиус цефеиды  $M_1 = 1.461 M_{\odot}$ ,  $R_1 = 27.1 R_{\odot}$ ; масса и радиус второго компонента  $M_2 = 0.504 M_{\odot}$ ,  $R_2 = 10.4 R_{\odot}$ ; спектральный класс каждой из звезд соответственно G1 II-III и K3 II-III.

## 5.2 GSC 4560-02157, затменная катаклизмическая система

Переменность GSC 4560–02157 была нами обнаружена в 2005 году по данным обзора NSVS. GSC 4560–02157 находится на угловом расстоянии 14'' от более яркой звезды GSC 4560–02269, поэтому в данных NSVS измерен суммарный блеск двух звезд и только по ним нельзя было определить, какой из компонентов пары переменен.

В марте 2013 г. нами были начаты ПЗС-наблюдения с целью выяснить это. Оказалось, что переменной является GSC 4560–02157 ( $15^{\text{h}} 43^{\text{m}} 36^{\text{s}}.65$ ,  $+75^{\circ} 15' 41''.1$ , J2000.0). Наблюдения были выполнены в фильтрах *R* и *V* фотометрической системы Джонсона на двух телескопах Zeiss-1000. Главным образом использовался Zeiss-1000 восточный, в течение трёх ночей (JD 2456772–2456784) был использован Zeiss-1000 западный. В полосе *R* получено 2455 измерений блеска (JD 2456364–2456784), в полосе *V* получено 828 измерений (JD 2456739–2456784). Пределы изменения блеска  $14^{\text{m}}.40 - 15^{\text{m}}.53$  в полосе *R* и  $14^{\text{m}}.75 - 16^{\text{m}}.10$  в полосе *V*. Звездой сравнения была выбрана GSC 4560–01221, контрольной звездой – GSC 4560–01352. Величины звезды сравнения взяты из каталога GSC2.3 (Ласкер и др. 2008):  $V = 14^{\text{m}}.33$  и  $R = 14^{\text{m}}.11$ .

Полученные данные проанализированы нами методом Лафлера и Кинмана (1965), реализованным в программе В.П. Горанского WinEfk. GSC 4560–02157 является короткопериодической затменной переменной типа Алголя, кривая блеска которой показывает значительные изменения вне главного затмения и практически постоянный блеск в главном затмении. Вне затмения блеск звезды меняется с амплитудой до  $0^{\text{m}}.6$ . Элементы изменения блеска затменной составляющей следующие:

$$\text{HJD}(\text{minI}) = 2456719.314 + 0^{\text{d}}.265359 \times E.$$

Кривая блеска GSC 4560–02157 показана на рисунке 5.6.



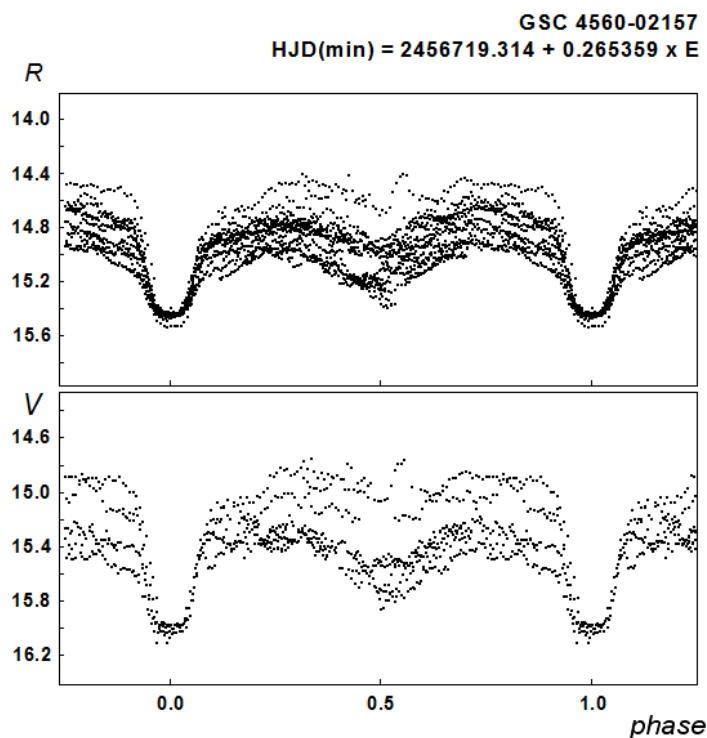


Рис. 5.6. Затменная фазовая кривая блеска GSC 4560–02157 по ПЗС-наблюдениям в полосах *R* и *V*.

Продолжительность главного минимума  $D = 0^{\text{P}}.18 = 0.05$  сут., продолжительность полного затмения  $d = 0^{\text{P}}.05 = 0.012$  сут. Уровень вторичного минимума зависит от общих изменений блеска вне главного затмения.

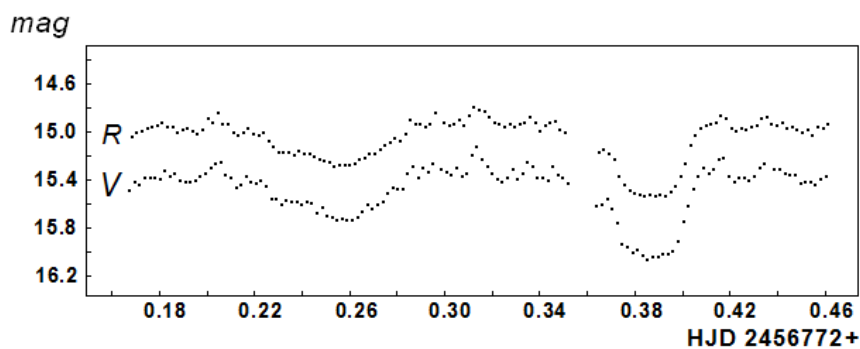


Рис. 5.7. Кривая блеска GSC 4560–02157 за одну ночь наблюдений в полосах *R* и *V*.

Вне главных затмений на затменную кривую накладываются короткопериодические изменения блеска малой амплитуды, а также

значительные изменения уровня блеска, заметные уже в соседних циклах. Кривая блеска за одну ночь наблюдений показана на рисунке 5.7.

Для анализа короткопериодических колебаний нами были исключены наблюдения в главном затмении и индивидуальные затменные кривые за отдельные ночи (анализировались наблюдения в полосе  $R$  как наиболее полные). Всего проанализировано 1637 измерений блеска в интервале JD 2456716–2456784 методом Диминга (1975), реализованным в программе В.П. Горанского WinEfk. Обнаружены мультипериодические колебания, спектры мощности приведены на рисунке 5.8. Частоты и амплитуды колебаний приведены в таблице 5.2.

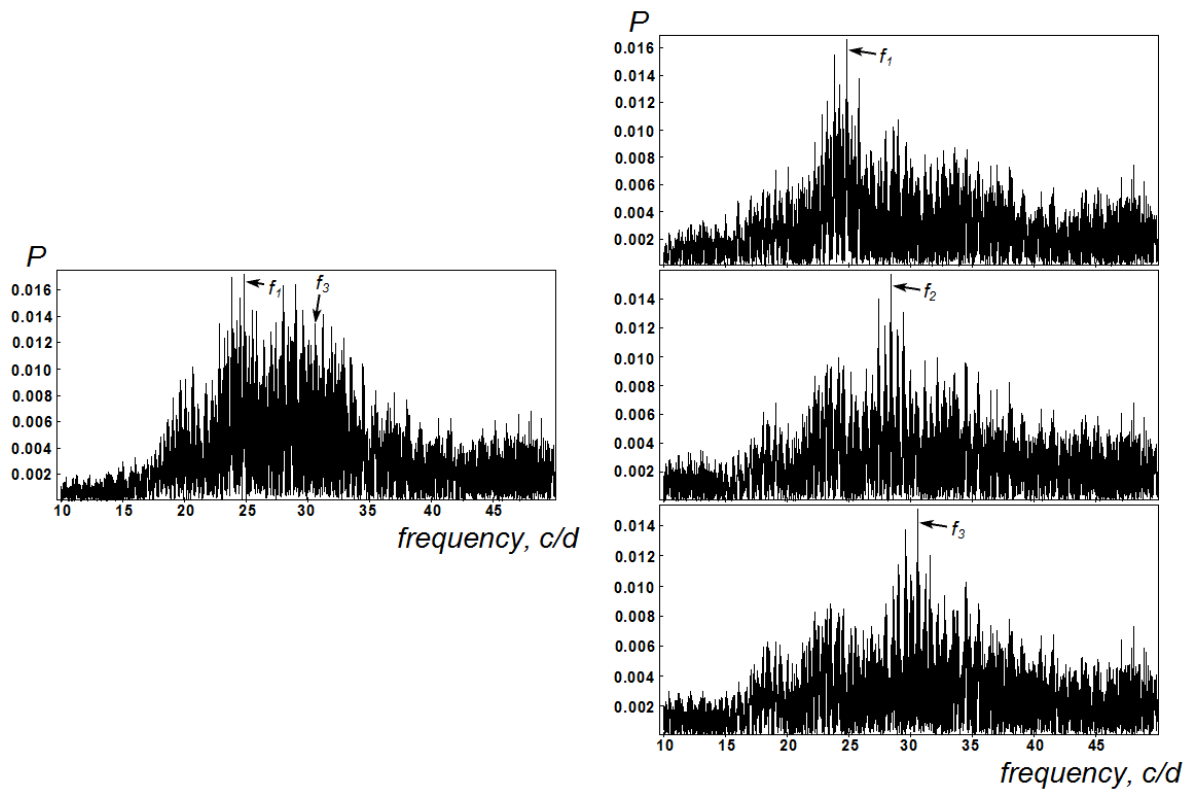


Рис. 5.8. Спектры мощности для малоамплитудных короткопериодических составляющих изменений блеска GSC 4560–02157. Слева – исходный спектр мощности, справа – спектры выделенных частот  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  (при исключенных пяти других частотах).

Таблица 5.2. Частоты и амплитуды короткопериодических колебаний.

Мода	Частота, цикл/сут.	Период, сут.	Полуамплитуды, mag
$f_1$	24.8432	0.0402525	0.0171
$f_2$	28.4026	0.0352080	0.0165
$f_3$	30.5982	0.0326817	0.0138
$f_4$	31.9354	0.0313132	0.0120
$f_5$	27.7483	0.0360383	0.0114
$f_6$	20.7149	0.0482744	0.0100

Сложное поведение GSC 4560-02157 напоминает катаклизмические переменные. Чтобы проверить катаклизмический характер звезды, В.П. Горанским, Е.А. Барсуковой и А.Ф. Валеевым проведены спектральные наблюдения переменной на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории (Северный Кавказ, Россия). Был получен один спектр звезды 5 июня 2014 г., UT 22:43:07 (HJD 2456814.4466). Использовалась камера SCORPIO с гризмой VPHG 550g, спектральное разрешение 13 Å. Время экспозиции составило 600 сек. Вычисленная гелиоцентрическая поправка  $\Delta V_r = -5.6 \text{ км с}^{-1}$ . Лучевая скорость звезды была почти равна нулю.

Спектр показывает сильные эмиссионные линии серии Бальмера, а также хорошо заметные эмиссии HeI и HeII, что характерно для катаклизмических переменных (см. рисунок 5.9). Спектр был получен на фазе 0.505 приведенных выше элементов блеска затменной составляющей (приблизительно соответствует вторичному минимуму). Непосредственно перед получением спектрограммы дважды был измерен блеск звезды в полосе V:  $V = 15^m.676$  (JD 2456814.4395) и  $V = 15^m.627$  (JD 2456814.4402). Таким образом, в момент вторичного минимума звезда имела достаточно слабый блеск. Вблизи GSC 4560-02157 на сегодняшний день не обнаружено источников рентгеновского излучения, что, по-видимому, можно объяснить слабым блеском переменной и, вероятно, значительным расстоянием до неё.

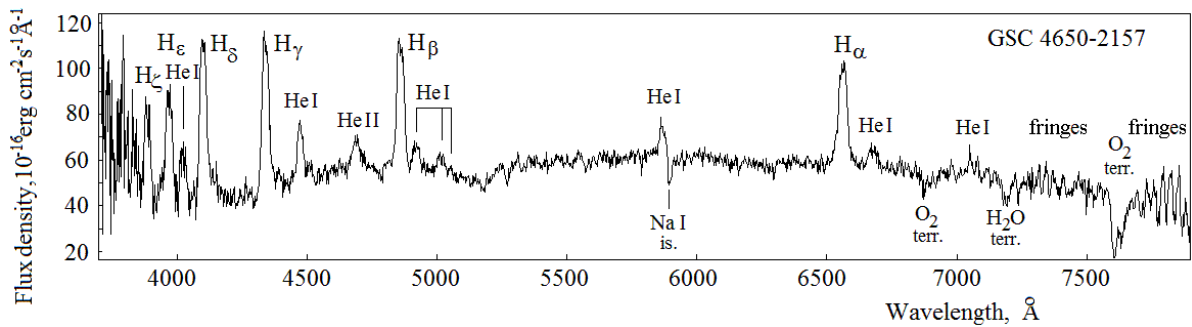


Рис. 5.9. Спектр GSC 4560-02157.

Результаты наших исследований GSC 4560–02157 опубликованы в статье [35].

### 5.3 V592 Cen

Переменность V592 Cen = GSC 8661-01303 ( $\alpha = 13^{\text{h}} 08^{\text{m}} 30^{\text{s}}.48$ ,  $\delta = -59^{\circ} 23' 01''.7$ , J2000) была открыта ван Гентом (1948). В каталоге инфракрасных источников IRAS звезда имеет обозначение IRAS 13054–5907. В ОКПЗ переменная классифицирована как полуправильная переменная звезда (тип SR) с периодом 40 сут. В примечаниях отмечено, что средний блеск меняется. Ллойд Эванс (1985) провёл инфракрасную *JHKL*-фотометрию V592 Cen, переменная заподозрена в принадлежности к звездам типа RV Tauri (подтип RVb), вторичный период медленного изменения среднего блеска не был определен. В каталоге фотометрического обзора ASAS-3 переменная отнесена к звездам, тип которых не определен (MISC), дан период 42.2 сут.

Нами были повторно проанализированы данные ASAS-3, значительно дополненные с момента публикации каталога ASAS-3, и подтверждена принадлежность переменной к типу RV Tauri, подтипу RVb, см. [20]. На основное колебание (двойная волна) накладывается вторичное

долгопериодическое колебание блеска. Переменная меняет блеск в пределах  $11^m.0 - 14^m.0$  (V).

Элементы основного колебания:

$$JD(\min) = 2454295 + 82^d.87 \times E$$

Элементы вторичного колебания (изменение среднего блеска):

$$JD(\max) = 2453150 + 1000^d \times E.$$

Характерно существенное различие глубин основного и вторичного минимумов в максимуме среднего блеска и их практически равная глубина в минимуме среднего блеска. Кривая блеска V592 Cep показана на рис. 5.10.

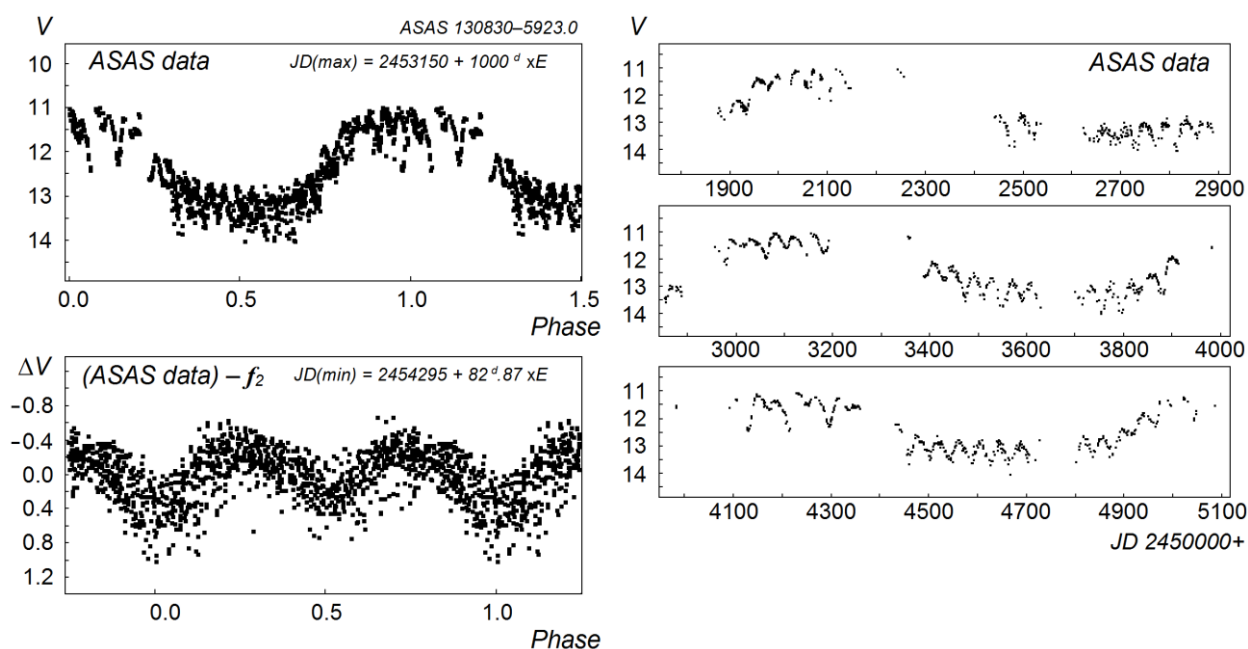


Рис. 5.10. Кривая блеска V592 Cep. Слева - фазовые кривые блеска: сверху – исходные данные ASAS-3 с периодом вторичного колебания, внизу – с периодом основного колебания (долгопериодические изменения блеска исключены); справа – кривая блеска от времени за весь период наблюдений ASAS-3.

## Заключение

В диссертации приведены результаты поиска двойной периодичности пульсирующих переменных звезд различных типов, а также фотометрических ПЗС-наблюдений отдельных переменных с двойной и множественной периодичностью.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Открытие большого числа ранее не известных переменных с двойной периодичностью среди HADS-звезд показывает, что их количество и частота встречаемости среди звезд данного типа сильно недооценивались.
2. Обнаружение новых переменных с тройной периодичностью (F/1O/2O) позволит в будущем рассматривать эти переменные со статистической точки зрения и выводит их из категории уникальных объектов.
3. Выявление 2O/3O переменных типа  $\delta$  Щита как в Галактике, так и в БМО и ММО, позволяет говорить о возможном выделении нового подтипа радиально пульсирующих переменных звезд.
4. Значительное количество найденных автором и другими исследователями переменных с двойной периодичностью типа RR(B), F/1O, (сотни звёзд) показывает широкую распространенность этого явления среди звезд типа RR Лиры. При этом RR(B)-звезды первого и второго обертонов, уверенно отождествить пока не удалось: 1O/2O переменные сходных периодов вблизи плоскости Галактики мы классифицируем как цефеиды, а на больших галактических широтах подобных звезд не обнаружено.
5. Бимодальное распределение F/1O RR(B)-звезд по периодам и его связь с классами Оостерхофа, вероятно, указывает на различия в возрасте и эволюционной стадии двух групп звезд.

6. Обнаружение за последний год автором работы и группой проекта OGLE нескольких звезд типа RR Лиры, изменивших моду пульсаций ( $RRAB \rightarrow RR(B)$  или  $RR(B) \rightarrow RRAB$ ), что стало возможным благодаря длительным многолетним однородным рядам фотометрических ПЗС-наблюдений автоматических обзоров, указывает на достаточно частую встречаемость этого явления, долгое время считавшегося уникальным (как V79 в M3).

7. Значительная распространенность RRC звезд с дополнительными нерадиальными пульсациями также стала очевидной лишь при систематическом изучении данных автоматических обзоров.

8. Выявление заметного количества новых случаев цефеид 1O/2O Галактики, в несколько раз превышающего количество известных ранее звезд данного типа, показывает, что в Галактике цефеиды первого и второго обертонов распространены, вероятно, ничуть не меньше, чем в БМО и ММО, где их число в несколько раз превышает число цефеид F/1O. Кроме того, сравнение диаграмм Петерсена для 1O/2O цефеид Галактики и БМО выявило их заметное отличие друг от друга, что, возможно, вызвано различием металличности цефеид двух галактик.

Полученные результаты указывают на необходимость дальнейших систематических наблюдений звезд с двойной и множественной периодичностью с целью уточнения их характеристик, выявления эволюционных проявлений (векового изменения периода, смены мод пульсаций) и получения необходимого статистического материала. Кроме того, фотометрические исследования высокой точности позволяют исследовать различные малоамплитудные радиальные и нерадиальные моды.

## Благодарности

В заключение я хочу поблагодарить моего научного руководителя, Николая Николаевича Самуся, за существенную помощь в работе над диссертацией и подготовкой публикаций, а также за постоянную готовность помочь советом и дать критическую оценку при постановке задач и оценке результатов исследований.

Особую благодарность хочу выразить Сергею Витальевичу Антипину как инициатору исследований по теме диссертации, неоднократно помогавшему в выборе верной интерпретации явлений.

Благодарю коллег и соавторов, без участия которых не могли быть получены результаты, изложенные в диссертации – Виталия Петровича Горанского за предоставленное программное обеспечение и быстрое своевременное выполнение необходимых наблюдений, Анатолия Васильевича Кусакина за проведение долговременных и систематических наблюдений и значительную помощь при выполнении наблюдений автором диссертации, Валентину Савельевну Козыреву за предоставление необходимых фотометрических данных, наблюдателей и сотрудников Тянь-Шаньской астрономической обсерватории Инну Рева и Раушан Кокумбаеву, а также сотрудников группы Общего каталога переменных звезд ИНАСАН и ГАИШ и отдела исследования Галактики и переменных звезд за доброжелательное отношение и поддержку.

Выражаю также благодарность группе технической поддержки ТШАО – Максиму Кругову, Николаю Личкановскому и Илье Рудакову, за постоянное техническое совершенствование работы инструментов обсерватории и создание максимально комфортных условий для выполнения наблюдений, а также администрации обсерватории за предоставленную возможность выполнения наших исследований.

Отдельно я хочу поблагодарить своих родителей – Евгению Филипповну и Валентина Владимировича Хрусловых – за всестороннюю помощь, понимание и терпение.



## Список литературы

- Агерер и др.** (F. Agerer, W. Kleikamp, W. Moschner, E. Splittgerber), Inform. Bull. Var. Stars No. 4332, 1 (1996)
- Агерер и Хюбшер** (F. Agerer, J. Huebscher), Inform. Bull. Var. Stars № 5296, 1 (2002)
- Анерт** (P. Ahnert), Mitteilungen Ver. Sterne № 118 (1950)
- Антипин** (S.V. Antipin), Inform. Bull. Var. Stars № 4485, 1 (1997)
- Антипин** (S.V. Antipin), Inform. Bull. Var. Stars № 4556, 1 (1998)
- Антипин** (S.V. Antipin), PZP **6**, 9 (2006)
- Антипин и др.** (S.V. Antipin, K.V. Sokolovsky, T.I. Ignatieva), MNRAS **379**, 60 (2007)
- Антипин и др.** (S.V. Antipin, E.V. Kazarovets, E.N. Pastukhova), PZP **10**, 33 (2010)
- Антипин и Юрчик** (S.V. Antipin, J. Jurcsik), Inform. Bull. Var. Stars No. 5632, 1 (2005)
- Бельтрам и Поретти** (M. Beltrame, E. Poretti), Astron. Astrophys. **386**, No. 1, L9 (2002)
- Бердников и Тернер** (L.N. Berdnikov, D.G. Turner), Inform. Bull. Var. Stars № 4567, 1 (1998)
- Баттерс и др.** (O.W. Butters, R.G. West, D.R. Anderson et al.), Astron. Astrophys. **520**, L10 (2010)
- ван Гент** (H. van Gent), Bull. Astron. Inst. Netherlands **10**, 382 (1948)
- Вилс и др.** (P. Wils, A.A. Henden, S. Kleidis et al.), MNRAS **402**, 1156 (2010)
- Вилс и др.** (P. Wils, C. Lloyd, K. Bernhard), MNRAS **368**, 1757 (2006)
- Вилс и др.** (P. Wils, I. Rozakis, S. Kleidis et al.), Astron. Astrophys. **478**, 865 (2008)
- Вилс и Отеро** (P. Wils, S.A. Otero), Inform. Bull. Var. Stars № 5501, 1 (2004)

- Вожняк и др.** (P.R. Wozniak, W.T. Vestrand, C.W. Akerlof et al.), *Astron. J.* **127**, 2436 (2004)
- Гарсиа-Мелендо** (E. Garcia-Melendo), *Astron. J.* **114**, 1190 (1997)
- Гесснер и Майнунгер** (H. Gessner, I. Meinunger), *Veröff. Sternwarte Sonn.* **7**, 607 (1973)
- Гётц и Венцель** (W. Götz, W. Wenzel), 1956 *Veröff. Sternw. Sonneberg*, **2**, H.5
- Горанский** (V.P. Goranskij), *Inform. Bull. Var. Stars* № 2007 (1981)
- Гоффман и др.** (D.I. Hoffman, T.E. Harrison, B.J. McNamara), *Astron. J.* **138**, 466 (2009)
- Гоффмейстер** (C. Hoffmeister), *Astron. Nachr.* **288**, 49 (1964)
- Гоффмейстер** (C. Hoffmeister), *Ergänz. Astron. Nachr.* **12**, № 1 (1949)
- Диминг** (T.J. Deeming) *Ap&SS* **36**, 137 (1975)
- Дрейк и др.** (A.J. Drake, S.G. Djorgovski, A. Mahabal et al.), *Astrophys. J.* **696**, 870 (2009)
- Дрейк и др.** (A.J. Drake, M.J. Graham, S.G. Djorgovski et al.), *Astrophys. J. Suppl.* **213**, 9 (2014)
- Ежикевич и Венцель** (M. Jerzykiewicz, W. Wenzel), *Acta Astron.* **27**, 35 (1977)
- Ефремов и Холопов** (Ефремов Ю. Н., Холопов П. Н.), *Переменные звезды* **20**, 133 (1975)
- Казаровец и Пастухова** (E.V. Kazarovets, E.N. Pastukhova), *Perem. Zvezdy Prilozh.* **13**, 20 (2013)
- Каинс и др.** (N. Kains, D.M. Bramich, A. Arellano Ferro, R. Figuera Jaimes), arXiv:1509.00006 (2015)
- Калюжный и др.** (J. Kaluzny, R.W. Hilditch, C. Clement, S.M. Rucinski), *MNRAS* **296**, 347 (1998)
- Клеман и др.** (C.M. Clement, T.D. Kinman, N.B. Suntzeff), *Astrophys. J.* **372**, 273 (1991)
- Клементини и др.** (G. Clementini, S. Di Tomaso, L. Di Fabrizio et al.), *Astron. J.* **120**, 2054 (2000)

**Койперс** (J. Cuypers), *Astron. Astrophys.* **145**, 283 (1985)

**Кокс** (Кокс Дж.П.), *Теория звездных пульсаций: Пер. с англ.*, - М., Мир (1983)

**Кристиансен и др.** (J.L. Christiansen, A. Derekas, M.C.B. Ashley et al.), *MNRAS* **382**, 239 (2007), arXiv:0707.4540v2

**Кукаркин и Паренаго** (Кукаркин Б. В., Паренаго П. П.), *Переменные звезды, том первый: Физические переменные звезды*, - М.-Л., ОНТИ НКТП СССР (1937)

**Ласкер и др.** (B.M. Lasker, M.G. Lattanzi, B.J. McLean et al.), *Astron. J.* **136**, 735 (2008)

**Лафлер и Кинман** (J. Lafler, T.D. Kinman) *Astrophys. J. Suppl.* **11**, 216 (1965)

**Леотта-Янин** (C. Leotta-Janin), *Bull. Astron. Inst. Netherlands* **19**, 169 (1967)

**Ллойд Эванс** (T. Lloyd Evans), *MNRAS* **217**, 493 (1985)

**Майнунгер** (I. Meinunger), *Mitteilungen Ver. Sterne* **5**, 12 (1968)

**Мантегацца** (L. Mantegazza), *Astron. Astrophys.* **118**, 321 (1983)

**Мантегацца и Поретти** (L. Mantegazza, E. Poretti), *Astron. Astrophys.* **158**, 389 (1986)

**Молнар и др.** (L. Molnar, R. Szabo, P.A. Moskalik et al.), *MNRAS* **452**, 4283 (2015)

**Музаци и др.** (F. Musazzi, E. Poretti, S. Covino, A. Arellano Ferro), *PASP* **110**, 1156 (1998)

**Олех и др.** (A. Olech, J. Kaluzny, I.B. Thompson et al.), *Astron. J.* **118**, 442 (1999)

**Оллок и др.** (C. Alcock, R. Allsman, D.R. Alves et al.), *Astrophys. J.* **542**, 257 (2000)

**Оостерхоф** (P.Th. Oosterhoff), *Bull. Astron. Inst. Netherlands* **13**, 317 (1957a)

**Оостерхоф** (P.Th. Oosterhoff), *Bull. Astron. Inst. Netherlands* **13**, 320 (1957b)

**Оостерхоф** (P.Th. Oosterhoff), *Bull. Astron. Inst. Netherlands* **17**, 448 (1964)

**Отеро и Вилс** (S. Otero, P. Wils), *Inform. Bull. Var. Stars* № 5644, 1 (2005)

**Петерсен** (J.O. Petersen), *Astron. Astrophys.* **27**, 89 (1973)

- Петерсен и Кристенсен-Дальсгор** (J.O. Petersen, J. Christensen-Dalsgaard), *Astron. Astrophys.* **312**, 463 (1996)
- Поймански** (G. Pojmanski), *Acta Astron.* **52**, 397 (2002)
- Полески и др.** (R. Poleski, I. Soszynski, A. Udalski et al.), *Acta Astron.* **60**, 1 (2010)
- Полески** (R. Poleski), *PASP* **126**, 509 (2014)
- Поретти и Антонелло** (E. Poretti, E. Antonello), *Astron. Astrophys.* **199**, 191 (1988)
- Пржибик и Брат** (V. Přibík, L. Brat), *Open Europ. J. Var. Stars* **109**, 4 (2009)
- Пьетрукович и др.** (P. Pietrukowicz, W.A. Dziembowski, P. Mróz et al.), *Acta Astron.* **63**, 379 (2013)
- Сабадош** (L. Szabados), *IAU Coll. No.* **29**, 159 (1976)
- Самусь и Антипин** (N.N. Samus, S.V. Antipin), *Inform. Bull. Var. Stars* № 5699 (2006)
- Самусь и др.** (N.N. Samus, O.V. Durlevich, V.P. Goranskij, E.V. Kazarovets, N.N. Kireeva, E.N. Pastukhova, A.V. Zharova), *General Catalogue of Variable Stars*, Centre de Donn'ees Astronomiques de Strasbourg, B/gcvs (2007-2015)  
<http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs>
- Сезар и др.** (B. Sesar, J.S. Stuart, Z. Ivezić et al.), *Astron. J.* **142**, 190 (2011)
- Сипахи и др.** (E. Sipahi, C. Ibanoglu, Ö. Çakirli et al.), *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica* **49**, 239 (2013)
- Скрутски и др.** (M.F. Skrutskie, R.M. Cutri, R. Stiening et al.), *Astron. J.* **131**, 1163 (2006)
- Смит** (H.A. Smith), *RR Lyrae stars / Cambridge astrophysics series*; 27 (1995)
- Смолец** (R. Smolec, P. Moskalik), *Astron. Astrophys.* **524**, A40, 12 (2010)
- Соколовский** (K.V. Sokolovsky), *PZP* **7**, 30 (2007)
- Соловьёв и др.** (V. Solovyov, A. Samokhvalov, B. Satovskiy), *PZ* **33**, No. 4 (2013)

- Сошински и др.** (I. Soszynski, R. Poleski, A. Udalski et al.), *Acta Astron.* **58**, 163 (2008a)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, A. Udalski, M.K. Szymanski et al.), *Acta Astron.* **58**, 293 (2008b)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, A. Udalski, M.K. Szymanski et al.), *Acta Astron.* **59**, 1 (2009)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, R. Poleski, A. Udalski et al.), *Acta Astron.* **60**, 17 (2010a)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, A. Udalski, M.K. Szymanski et al.), *Acta Astron.* **60**, 165 (2010b)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, A. Udalski, M.K. Szymanski et al.), *Acta Astron.* **60**, 91 (2010c)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, W.A. Dziembowski, A. Udalski et al.), *Acta Astron.* **61**, 1 (2011a)
- Сошински и др.** (I. Soszynski, A. Udalski, P. Pietrukowicz et al.), *Acta Astron.* **61**, 285 (2011b)
- 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)
- Стоби** (R.S. Stobie), *The Observatory* **90**, 20 (1970)
- Стоби** (R.S. Stobie), *MNRAS* **157**, 167 (1972)
- Стоби** (R.S. Stobie), *Inform. Bull. Var. Stars* № 1209, 1 (1976)
- Стоби и Хоурден** (R.S. Stobie, T. Hawarden), *MNRAS* **157**, 157 (1972)
- Тернер и др.** (D.G. Turner, D.J. Majaess, D.J. Lane et al.), *Bull. American Astron. Soc.* **41**, 302 (2009)
- Улусой и др.** (C. Ulusoy, B. Ulaş, T. Gülmez et al.), *MNRAS* **433**, 394 (2013)
- Фич** (W.S. Fitch), *Astrophys. J.* **121**, 690 (1955)
- Флоря** (Флоря Н. Ф.), *Астрон. Журн.* **14**, № 1 (1937)

- Хайду и др.** (G. Hajdu, J. Jurcsik, A. Sodor), Inform. Bull. Var. Stars № 5882, 1 (2009)
- Хандлер и др.** (G. Handler, H. Pikall, R. Diethelm), Inform. Bull. Var. Stars № 4549, 1 (1998)
- Хенден** (A.A. Henden), MNRAS **192**, 621 (1980)
- Хюбшер** (J. Huebscher), Inform. Bull. Var. Stars № 5643, 1 (2005)
- Хюбшер и др.** (J. Huebscher, A. Paschke, F. Walter), Inform. Bull. Var. Stars № 5657, 1 (2005)
- Хюбшер и др.** (J. Huebscher, A. Paschke, F. Walter), Inform. Bull. Var. Stars № 5731, 1 (2006)
- Хюбшер и др.** (J. Huebscher, H.-M. Steinbach, F. Walter), Inform. Bull. Var. Stars № 5889, 1 (2009)
- Хюбшер и др.** (J. Huebscher, P.B. Lehmann, G. Monninger et al.), Inform. Bull. Var. Stars № 5918, 1 (2010)
- Хюбшер и Леман** (J. Huebscher, P.B. Lehmann), Inform. Bull. Var. Stars № 6026, 1 (2012)
- Чен и др.** (B.Q. Chen, B.W. Jiang, M. Yang), Research in Astron. Astrophys. **13**, 290 (2013)
- Черешнеш** (P. Cseresnjes), Astron. Astrophys. **375**, 909 (2001)
- Штромайер и др.** (W. Strohmeier, R. Knigge, H. Ott), Inform. Bull. Var. Stars № 74, 1 (1964)
- Щигель и Фабрицки** (D.M. Szczygiel, D.C. Fabrycky), MNRAS **377**, 1263 (2007)
- Юрчик и др.** (J. Jurcsik, P. Smitola, G. Hajdu et al.), Astrophys. J. Suppl. **219**, 25 (2015)
- Янсен** (A.G. Jansen), Bull. Astron. Inst. Netherlands **16**, 141 (1962)