

61: 03-1/ 623-6

**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А. М. ГОРЬКОГО**

На правах рукописи

Полушкина Татьяна Сергеевна

**Фотометрические проявления газовых потоков в
массивных тесных двойных системах с горячими
компонентами на Главной последовательности**

(01.03.02 – Астрофизика и радиоастрономия)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научные руководители:
Чл.-корр. РАН, профессор-
доктор физ.-мат. наук А.М.Черепашук
доктор физ.-мат. наук М.А.Свечников

Екатеринбург
2002

Содержание

Введение	5
Глава 1. Массивные тесные двойные системы ранних спектральных классов, теоретические и наблюдательные аспекты	12
1.1 Массивные тесные двойные системы с горячими Компонентами	12
1.2 Каталог массивных тесных двойных систем ранних спектральных классов, принадлежащих Главной последовательности. Наблюдаемые характеристики.	17
Глава 2. Фотоэлектрические наблюдения горячих массивных тесных двойных систем: SZ Жирафа, UU Кассиопеи, CC Кассиопеи, V368 Кассиопеи	23
2.1 Метод фотоэлектрических наблюдений	23
2.1.1 Постановка задачи	23
2.1.2 Приемная аппаратура	24
2.1.3 Дифференциальные наблюдения	24
2.1.4 Учет влияния атмосферы на результаты наблюдений	25
2.1.5 Осуществление контроля фотометрической системы UBVR	27
2.2 Особенности астроклимата. Постановка методики наблюдений	30
2.3 Алгоритм обработки фотоэлектрических наблюдений	34

2.4 Результаты фотометрических наблюдений исследуемых звезд	37
2.4.1 Наблюдения СС Кассиопеи	37
2.4.2 Наблюдения V368 Кассиопеи	45
2.4.3 Наблюдения SZ Жирафа	50
2.4.4 Наблюдения UU Кассиопеи	58
Глава 3. Анализ кривых блеска исследуемых массивных тесных двойных систем с горячими компонентами Главной последовательности	63
3.1 Модели двойных систем и методы анализа кривых изменения блеска затменных переменных звезд	63
3.1.1 Классические методы анализа кривых блеска ТДС	63
3.1.2 Современное развитие моделей тесных двойных систем	65
3.1.3 Модели, учитывающие влияние газовой составляющей системы	66
3.2 Анализ полученных кривых блеска. Вклад газовой составляющей	69
3.2.1 СС Кассиопеи	69
3.2.1.1 <i>Введение</i>	69
3.2.1.2 <i>Особенности кривых блеска СС Cas сезона 1980-1983гг.</i>	72
3.2.1.3 <i>Особенности кривых блеска СС Cas сезона 1988г.</i>	73
3.2.1.4 <i>Определение фотометрических характеристик системы</i>	73
3.2.1.5 <i>Абсолютные элементы орбиты СС Cas и эволюционный статус системы</i>	75
3.2.2 SZ Жирафа	78
3.2.2.1 <i>Введение</i>	78
3.2.2.2 <i>Эволюция кривых изменения блеска SZ Cas за 50 лет из-за изменений газовых структур в системе</i>	80
3.2.2.3 <i>Оценка параметров газовых структур в системе SZ Жирафа в модели анизотропного звездного ветра</i>	82
3.2.3 UU Кассиопеи	89
3.2.3.1 <i>Введение</i>	89

<i>3.2.3.2 Определение относительных элементов орбиты</i>	90
<i>3.2.3.3 Определение абсолютных элементов орбиты</i>	92
<i>3.2.3.4 Исследование остаточных уклонений наблюдаемой кривой изменения блеска UU Кассиопеи от модельной кривой</i> ..	93
<i>3.2.3.5 Модель системы. Газовые структуры в системе UU Cas и их влияние на формирование кривых блеска</i>	95
<i>3.2.3.6 Выводы</i>	98
3.2.4 V368 Кассиопеи	99
<i>3.2.4.1 Определение относительных элементов орбиты</i>	99
<i>3.2.4.2 Эволюционный статус V368 Cas</i> <i>Определение абсолютных параметров системы</i>	100
Заключение	101
Библиография	107
Приложение	117
Таблица 1. Список горячих тесных двойных систем Главной последовательности-кандидатов в массивные системы	118
Таблица 2. Каталог галактических массивных тесных двойных систем ранних спектральных классов, принадлежащих Главной последовательности	126
Список используемых сокращений	142

Введение

Двойственность - весьма распространенное явление в мире звезд. По различным оценкам в нашей Галактике в состав двойных и кратных систем входит около 50-80% всех звезд. Современное деление двойных звезд на широкие и тесные системы основано на более глубоких, физических признаках. К тесным двойным относят такие двойные звезды, компоненты которых оказывают влияние на эволюцию друг друга хотя бы на одной из стадий существования системы (Plavec 1967, Paczynski 1967). Под это определение подходят практически все затменные двойные и большая часть из известных спектральных двойных звезд.

Затменные двойные звезды, как частный случай более широкого класса двойных систем, являются богатейшим источником самой разнообразной информации о физической природе звезд и путях их эволюции. Они встречаются среди всех типов звездного населения Галактики, попадают во все области диаграммы спектр-светимость, наблюдаются (фотометрическими методами) на огромных расстояниях от Солнца и даже в других галактиках. Их комплексные, фотометрические и спектральные, наблюдения оказываются, по существу, единственной возможностью получения сведений об основных характеристиках звезд - массах, радиусах, средних плотностях. В ряде случаев у компонентов таких систем можно определять эффективные температуры, распределения яркости по дискам, скорости осевых вращений, концентрацию масс к центрам, изучать строение протяженных атмосфер, различные эффекты взаимодействия. Теория внутреннего строения звезд и их эволюция была бы немыслима без постоянного обращения к этому источнику информации. В настоящее время роль тесных двойных систем в астрофизике стала еще более значимой: открыта двойственность новых и повторных новых звезд, переменных типа U Gem, ряда рентгеновских источников излучения. Как выяснилось, такие необычные объекты и явления возникают в результате взаимного влияния компонентов в тесных парах на эволюцию друг друга.

Успехи теории эволюции тесных двойных звезд, достигнутые в последние годы, позволяют представить в общих чертах эволюцию двойной системы, переход от одной стадии эволюции к другой. Появляются разработки деталей эволюции тесных двойных систем (ТДС), внедряются новые методы моделирования с помощью быстродействующих компьютеров кривых блеска и спектров. Становится более тесной коопeração усилий теоретиков и наблюдателей.

Вместе с тем, остается целый ряд вопросов, связанных в первую очередь с ограниченными возможностями наблюдательной астрономии, для решения которых чрезвычайно важны детальные исследования отдельных тесных двойных систем, находящихся на разных этапах эволюции.

Массивные тесные двойные системы (МТДС), компоненты которых занимают верхнюю часть Главной последовательности (ГП), можно отнести к системам, в эволюции которых значительную роль играет обмен веществом звездным ветром. С самых ранних этапов эволюции эти системы уже можно отнести к взаимодействующим. Класс взаимодействующих двойных звезд (ВДЗ) выделен в восьмидесятых годах (Plavec M.J. 1980, 1985). К этому классу относят звездные системы, у которых пекулярности кривых блеска и особенности спектров вызваны присутствием в системах развитых околозвездных газовых структур, существенно затрудняющих исследования этих систем классическими методами. Вследствие этого, основные параметры звездных компонентов таких систем определены неоднозначно.

До недавнего времени МТДС привлекали к себе гораздо меньше внимания, по-видимому, считалось, что это молодые массивные и быстро эволюционирующие и, возможно, неравновесные объекты. Успехи астрофизики - открытие конечных продуктов эволюции массивных звезд (нейтронных звезд и, возможно, "черных дыр"), а также рентгеновских источников в массивных двойных, потребовавшие развития представлений об эволюции МТДС вплоть до конечных стадий с целью определения места вновь обнаруженных объектов в эволюции этих звезд, побудили возрастание внимания к этим объектам.

Цель и задачи работы. Настоящая работа посвящена детальному электрофотометрическому исследованию четырех массивных тесных двойных систем ранних спектральных классов - SZ Cas, CC Cas, UU Cas, V368 Cas, каждая из которых может быть отнесена к описанным выше объектам, определению физических параметров звездных компонентов, характера влияния и структуры околозвездного вещества, эволюционного статуса систем. Исходя из этого были определены задачи исследования:

1. Провести фотоэлектрические наблюдения исследуемых звезд с максимально возможной точностью в четырех стандартных фотометрических полосах UBVR с целью получения кривых блеска этих систем, равномерно и с высокой плотностью покрытия всего орбитального периода.
2. Определить относительные и абсолютные параметры систем.
3. Выделить и оценить вклад в кривые блеска газовой составляющей, определить структуру распределения околозвездного вещества в системах.
4. Определить эволюционный статус систем.
5. Составить каталог массивных тесных двойных систем ранних спектральных классов, оба компонента которых принадлежат, либо находятся вблизи главной последовательности.
6. Выделить системы, в наблюдательных данных которых проявляется влияние околозвездного и/или околосистемного газа. Провести статистические исследования таких проявлений.

7. Провести сравнение полученных характеристик исследуемых звезд с результатами статистических исследований звезд указанного каталога.

Научная новизна работы заключается в следующем:

Впервые создан каталог массивных тесных двойных систем с горячими компонентами главной последовательности, в котором представлены наблюдаемые параметры звезд, показывающие значительное воздействие на них околосистемного газового вещества. Он позволяет обобщить наблюдаемые явления и может быть использован при интерпретации наблюдательных данных конкретных систем этого класса.

Впервые получены многоцветные высокоточные с хорошим заполнением и неоднократным перекрытием фотоэлектрические кривые блеска массивных ТДС SZ Жирафа, CC Кассиопеи, V368 Кассиопеи, UU Кассиопеи, позволяющие производить с большой надежностью анализ эффектов, обусловленных влиянием околозвездного газа.

Представлен мониторинг кривых блеска систем, позволяющий пронаблюдать эволюцию кривых блеска исследуемых систем на интервалах в несколько десятков лет.

Впервые для интерпретации наблюдаемых явлений SZ Жирафа, CC Кассиопеи, UU Кассиопеи, предложена модель системы, состоящей из двух эллипсоидальных звезд, погруженных в газовую оболочку сложной структуры. Получены параметры околозвездной оболочки SZ Жирафа в модели радиально расширяющегося звездного ветра от одного из компонентов, где непрозрачность вызвана рассеянием на свободных электронах.

Научно-практическая ценность работы. Данная работа может рассматриваться как определенный вклад в понимание процессов, происходящих в массивных тесных двойных системах на стадии ГП. Полученные результаты могут быть использованы в теоретических сценариях и расчетах эволюции горячих массивных двойных систем на разных этапах обмена веществом, происходящих вблизи ГП, установления генетической связи между ними, исследования эволюции околозвездных газовых структур, механизмов передачи и потери вещества в МТДС на разных стадиях обмена веществом.

В работе получены и выводятся на защиту следующие результаты:

1. Результаты многолетних фотоэлектрических наблюдений в системе UBVR четырех массивных тесных двойных систем с горячими компонентами, UU Cas, CC Cas, V368Cas, SZ Cas, полученные в Астрономической обсерватории УрГУ и Ташкентской обсерватории Узбекской АН на горе Майданак.

2. Каталог галактических массивных тесных двойных систем с горячими компонентами на главной последовательности, созданный на основе базы данных по оригинальным источникам в системе Microsoft Access. Результаты анализа каталога, показавшие, что практически во всех системах данного типа газовые образования заметно проявляют себя в наблюдениях независимо от конфигурации и эволюционного статуса системы. Это вызывает значительную неопределенность в определении параметров таких систем классическими методами. Каталог не имеет аналогов в публикациях.
3. Наблюдательные свидетельства фотометрических проявлений газовых структур, их временные, амплитудные и цветовые параметры, многокомпонентность этих проявлений и возможной физической переменности блеска компонент. Параметры звездного ветра для SZ Cam в модели двойной системы звезд, окруженной анизотропной газовой оболочкой.
4. Значения фотометрических элементов орбит и компонентов исследуемых систем, полученные в модели, состоящей из двух подобных трехосных эллипсоидов, на основе данного наблюдательного материала.

Апробация работы. По материалам диссертации опубликовано 15 статей, из них 6 в центральных и зарубежных изданиях. Две статьи опубликованы в соавторстве с сотрудниками обсерватории УрГУ и других астрономических учреждений. Вклад диссертанта в совместных работах эквивалентен вкладу соавторов.

Материалы диссертации апробировались на:

"19 Всесоюзной конференции исследователей переменных звезд, посвященной памяти В.П. Цесевича ", Одесса, 1987 г.,
"Всесоюзном совещании по взаимодействующим двойным звездным системам", Тыравере, 10-14 октября 1989г.,

"25 студенческой научной конференции Физика Космоса", Екатеринбург, 29 января - 2 февраля 1996 г.,

"28 международной студенческой научной конференция Физика Космоса", Екатеринбург, 1-5 февраля 1999 г.,

Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Б.В. Кукаркина "Переменные звезды - ключ к пониманию строения и эволюции Галактики", Москва, 25 - 29 октября 1999 г.,

Всероссийской астрономической конференции, Санкт-Петербург, 6-12 августа 2001 г.,

Международной конференции « Международное сотрудничество в области астрономии: состояние и перспективы », Москва, 25 мая – 2 июня 2002 г.,

а также на семинарах кафедры астрономии и геодезии и Астрономической обсерватории УрГУ.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, указаны научная новизна, научная и практическая значимость результатов работы, кратко изложено содержание диссертации, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор теоретических и наблюдательных данных о массивных двойных системах. В разделе 1.1 для конкретизации определено понятие массивных звезд с точки зрения эволюции и наблюдательных проявлений. Отмечены особенности тесных двойных систем, состоящих из массивных звезд ранних спектральных классов. Обзор дополнен рассмотрением переменных ОВ звезд, попадающих в область Главной последовательности. В разделе 1.2 приведено описание структуры каталога, физических и геометрических характеристик массивных тесных двойных систем ранних спектральных классов, рассмотрены источники, на базе которых создан каталог. Из соображений однородности каталог содержит только галактические ОВ МТДС. Каталог содержит информацию о физических, геометрических, эволюционных характеристиках 186 систем, об их спектральных и фотометрических особенностях, поведении периодов. Приведены данные о поведении их в радио- и рентгеновском диапазонах, информация о возможных проявлениях газовых структур в окрестности систем. Проведен анализ каталога, сделаны выводы о том, что газовые структуры проявляют себя практически во всех исследуемых системах, независимо от конфигурации и возраста. Основная цель каталога – создание основы для проведения статистических исследований (систематизация, выявление характерных закономерностей, которые могли бы использоваться для теоретических работ), для анализа наблюдательного материала (сравнение полученных результатов с имеющимися данными по другим аналогичным объектам, и определение их места в этом ряду), для планирования наблюдений (постановка наблюдательных задач, подбор объектов для выполнения конкретных наблюдательных программ, выбор инструментов, распределение наблюдательного времени и т.д.). Каталог не имеет себе аналогов. Он приведен в приложениях к рукописи, а полная версия в виде базы данных имеется на магнитных носителях.

Во второй главе представлены результаты фотоэлектрических наблюдений четырех МТДС с горячими компонентами UU Cas, CC Cas, V368 Cas, SZ Cam. В разделе 2.1 дано краткое описание используемой аппаратуры и метода дифференциальной электрофотометрии. В разделе 2.2 исследуются особенности астроклимата Коуровской обсерватории, дана постановка методики наблюдений и описана программа наблюдений. В разделе 2.3 приведен алгоритм программы обработки наблюдений. В 2.4

описаны наблюдения исследуемых звезд и приведены результаты электрофотометрии в форме иллюстраций и таблиц.

В третьей главе выполнен анализ полученных кривых изменения блеска исследуемых звезд, получены фотометрические элементы орбит этих систем в модели Ресселла-Меррилла. На основе использования спектроскопических данных для систем, результатов статистических исследований разделенных систем главной последовательности и результатов интерпретации кривых блеска сделаны оценки их абсолютных параметров. Рассмотрено влияние газовой материи на наблюдаемые кривые блеска и как следствие на полученные значения параметров, даны некоторые оценки ее характеристик. На основе полученных результатов сделаны выводы об эволюционном статусе исследуемых звезд и возможных качественных моделях систем.

В Заключении кратко изложены основные итоги проделанной работы. Приведен список публикаций по материалам диссертационной работы.

В Приложении приведен каталог галактических массивных тесных двойных звезд ранних спектральных классов, принадлежащих главной последовательности, содержащий 186 объектов. Приложение состоит из двух таблиц: 1) таблицы объектов, являющихся кандидатами в МТДС, и 2) собственно самого каталога, где представлены объекты, для которых получено достаточно наблюдательного материала, чтобы можно было отнести их к МТДС. Все системы разделены по признаку их конфигураций в отдельные таблицы, в которых представлены сведения о физических характеристиках систем, полученных из наблюдений различными методами.

Глава 1. Массивные тесные двойные системы ранних спектральных классов, теоретические и наблюдательные аспекты

1.1 Массивные тесные двойные системы с горячими компонентами

Понятие массивной звезды определяется исследователями на основе эволюционных характеристик. C. De Loore (1980) определил его следующим образом. Если сравнивать эволюцию звезд с разными массами во время горения в ядре водорода, имеет место разница в структуре внутренних областей для масс меньших и превосходящих $\sim 1.2M_{\odot}$. Звезды с массами большими, чем $1.2M_{\odot}$ развиваются конвективное ядро. Их эволюционный трек имеет особый характер в конце горения гелия в ядре, то есть острый голубой точечный максимум, который отсутствует на треках меньших масс. Звезды с массами между 1.2 и $10M_{\odot}$ имеют более или менее похожие треки, сжатие с последующим быстрым расширением. В звездах с массами примерно более $10M_{\odot}$ химический состав испытывает скачок во внешних слоях ядра, являющийся следствием увеличения ядра из-за увеличения содержания гелия. Для звезд с массами от 1.2 до $10M_{\odot}$ вследствие ядерных реакций, преобразующих водород в гелий, конвективное ядро в течении эволюции сжимается. Внешние слои находятся в лучистом равновесии. В областях, остающихся вне сжимающегося конвективного ядра, химсостав не изменяется. Химический состав ядра меняется непрерывно: уменьшается содержание водорода, увеличивается содержание гелия. Вне конвективного ядра скачок содержания водорода отсутствует. Для более массивных звезд ситуация становится более сложной. Эволюционные расчеты показали, что на последнем этапе эволюции такие звезды вспыхивают как сверхновые.

Нижний предел масс звезд, называемых массивными, в последнее время определяется минимальной массой, необходимой одиночной звезде для вспышки ее как сверхновой. Вероятная величина нижнего предела масс для одиночных звезд $\sim 8M_{\odot}$. Верхний предел массы менее определен. Теория указывает, что только звезды Главной последовательности (ГП) с $M \leq 60-90M_{\odot}$ являются пульсационно устойчивыми (Schwarzschild, Härm 1959; Stothers, Simon 1970, Zuckerman et all. 1977), однако, болометрические светимости наиболее ярких звезд нашей Галактики указывают на существование звезд с массами $M \approx 150M_{\odot}$.

Наблюдения горячих ярких звезд в последние десятилетия (Snow, Morton 1976; Barlow et all. 1982) показали, что эти звезды теряют вещество посредством звездного ветра. Ультрафиолетовые наблюдения обеспечили

один из наиболее эффективных методов исследования явления истечения вещества. Ряд резонансных линий, например: MgII, FeII, SiIV, CIV, NV, надежно диагностируют газовые потоки, типичная температура и плотность которых благоприятны для образования этих линий. При исследовании ультрафиолетовых спектров горячих массивных звезд с $L \geq 2 \cdot 10^4 L_\odot$ обнаружено существование потери вещества со скоростью $10^{-7} M_\odot/\text{год}$.

Как показали исследования с "Коперника" (Snow, Morton 1976), регистрируемая скорость звездного ветра быстро уменьшается со спектральным классом и уже почти не наблюдается у звезд B3, что нижняя граница для такой потери вещества составляет $M_{\text{bol}} \sim -6^m$. Это соответствует звездам на нулевой ГП с массой $\sim 15 M_\odot$.

Учет наблюдаемой потери вещества большинством O-, B- сверхгигантов ведет к уменьшению их массы за время жизни на ГП примерно на 10-20% (Масевич, Тутуков 1988). Теория потери массы остается пока недостаточно разработанной, что затрудняет количественные оценки. Часть вещества оболочки звезды выбрасывается в межзвездное пространство еще задолго до взрыва сверхновой. Потеря вещества массивными звездами приводит к обогащению межзвездной среды продуктами ядерного синтеза, происходящего в их недрах, обеспечивая тем самым химическую эволюцию галактик (Масевич, Тутуков 1988).

Эволюционные вычисления обнаружили, что области полуконвективного равновесия для таких массивных звезд сдвинуты из-за звездного ветра. Теория эволюции одиночных массивных звезд пока не дает возможности однозначного выбора критерия устойчивости относительно перемешивания зоны переменного молекулярного веса. Это приводит к необходимости изучения эволюции массивных тесных двойных систем (МТДС).

Эволюция одиночных звезд, теряющих вещество посредством звездного ветра, идентична эволюции такой же звезды, но являющейся членом двойной системы, однако, скорости потери вещества у двойных систем выше (Ziólkowski 1977, Vanbeveren et all. 1979). С теоретической точки зрения, это объясняется тем, что среднее значение силы тяжести на поверхности полуразделенных компонент двойной системы ниже, чем для одиночной звезды, что усиливает эффект механизма, основанного на звездном ветре. Существенный вклад вносит также быстрое вращение компонентов, обусловленное синхронизацией вращения звезд и их обращения вокруг центра масс системы (Ziólkowski 1977, Vanbeveren et all. 1979).

При численном моделировании эволюции ТДС самым неопределенным фактором является учет потери масс и углового момента системой. В связи с этим значительный интерес представляет исследование параметров и структуры околозвездного вещества во

взаимодействующих двойных, т.к. это несет информацию о процессах, сопровождающих стадию быстрого обмена веществом, когда темп переноса массы очень высок и большое количество вещества может быть выброшено из системы. В случае с массивными системами значительными в их эволюции становятся как потеря вещества до заполнения ими полости Роша и перенос вещества, так и потеря вещества во время фазы заполнения. Потеря вещества идет на любой стадии, но с разной скоростью, проявляясь в образовании сложных газовых структур как между компонентами, так и вокруг системы, и как показано ниже, у этих систем газовые структуры наблюдаются на всех стадиях жизни, проявляясь в тех или иных формах.

Присутствие газовых потоков в ТДС было установлено еще в 30-е годы. В настоящее время считается общепринятым, что степень обмена массой между компонентами двойной звездной системы определяет эволюционный статус этой системы и в значительной степени влияет на регистрируемые наблюдательные проявления. Начиная с пионерских работ (Struve O. 1941, Kuiper G.P. 1941, Crawford Y. 1955), посвященных изучению двойных звезд, и в большинстве последующих исследований основное внимание уделялось рассмотрению влияния обмена веществом на эволюцию системы (Paczynski B. 1971, Plavec M. 1973, De Greve J.P. 1986). Установлено, что эволюция двойных систем на этапах взаимодействия определяется несколькими основными процессами: истечением вещества из первичной компоненты, акрецией вещества на вторичную компоненту, образованием общих оболочек, а также потерей системой вещества и углового момента. Теоретические исследования, а также обширный ряд имеющихся наблюдений свидетельствует о наличии сложной динамической структуры течения вещества во взаимодействующих двойных системах (ВДС) (Горбацкий 1976, Plavec M. 1990, Whiten E. 1989, Боярчук 1997).

Наряду с перетеканием газа через внутреннюю точку Лагранжа, в последнее время все большее внимание уделяется исследованию другого возможного механизма обмена веществом во ВДС - посредством звездного ветра (Kondo 1996, Бисикало 1997а, б, 1998 и др.). В таких двойных системах картина течения вещества наряду с перетеканием массы через окрестность внутренней точки Лагранжа определяется в значительной степени потоком вещества на вторую компоненту, вызванным орбитальным движением акрецирующей звезды в газе звездного ветра. Наличие взаимодействующих потоков приводит к усложнению общей картины течения, и как следствие, к изменению параметров обмена веществом, определяющих эволюцию системы (Бисикало и др. 1998).

Общая картина течения вещества в двойных системах с компонентами, не заполняющими полости Роша, определяется, в первую очередь, принятыми значениями звездного ветра. В качестве реального параметра, определяющего скоростной режим звездного ветра,

используется отношение скорости ветра к орбитальной скорости аккретора. Важным проявлением изменения картины течения в зависимости от скоростного режима звездного ветра является изменение скорости акреции вещества. Увеличение скорости ветра приводит к существенному уменьшению скорости акреции а, следовательно, и к увеличению доли вещества, покидающего систему (Бисикало и др. 1997).

В связи с тем, что в дальнейшем речь пойдет о фотометрических проявлениях газовых структур в МТДС, картину надо дополнить пульсирующими переменными звездами, находящимися в окрестностях ГП диаграммы Герцшпрунга-Ресселла (Г-Р) и не попадающими в полосу нестабильности. Такая переменность может заметно усложнить фотометрические и спектроскопические проявления, а те звезды, переменность которых имеет мультипериодический характер, могут заметно усилить свой звездный ветер, т.к. мультипериодическая переменность практически проявляется как крупномасштабная турбулентность в верхних слоях звезды (А.А. Памятных, 1994).

В Общем Каталоге Переменных Звезд (ОКПЗ) пульсирующие переменные В-звезды (и соседствующие с ними на диаграмме Г-Р объекты) представлены следующими типами звезд:

- 1) α Суг - нерадиально пульсирующие сверхгиганты спектральных классов Beq - Aeq Ia. Изменения блеска с амплитудой $\approx 0.1^m$ нередко кажутся неправильными, вызываются наложением колебаний с близкими периодами. Наблюдаются циклы от нескольких дней до нескольких десятков дней. Имеют широкие спектральные линии ($Vsin\alpha \geq 100 \text{ km/s}$).
- 2) β Сер - звезды O8-B6 I-V с периодами изменения блеска и лучевой скорости в пределах 0.1-0.6 суток и амплитудами изменения блеска от 0.01^m до 0.3^m (в V). Кривые блеска подобны средним кривым лучевой скорости, но отстают от них по фазе на $1/4$ периода. Так, что максимум блеска соответствует максимальному сжатию, т.е. минимальному радиусу звезды. По-видимому, в основном наблюдаются радиальные пульсации, но в некоторых случаях и нерадиальные. Для многих звезд характерна мультипериодичность. Спектральные линии узкие. Соответствуют 0.5-0.7 возраста на ГП.
- 3) β Сер S - короткопериодические переменные типа β Сер, спектральный класс B2-B3 IV-V. Периоды и амплитуды изменения блеска заключены в пределах 0.02-0.04 суток (4-6 часов) и $0.015-0.025^m$ соответственно. Звезды типа β Сер определены как группа ранних В-звезд, показывающих короткопериодические изменения яркости, радиальной скорости и профилей спектральных линий, слишком короткими, чтобы их можно было связать с геометрическими эффектами, как вращение или двойственность. Увеличение амплитуды изменений блеска в коротковолновой части спектра свидетельствуют о вариациях поверхностной температуры.

- 4) Be - звезды. Не менее 60% Be-звезд обнаруживают фотометрическую переменность с различными характерными временами. Периоды - 0.4-3 дня, типичные амплитуды изменений составляют несколько сотых звездной величины. У них обычно наблюдается одна мода с $|m| \approx 2$ и несколько мод с $|m| \approx 8$.

Современные объяснения пульсаций используют α -механизм, связанный с пространственными и временными изменениями непрозрачности в зонах частичной ионизации водорода и гелия. Этот механизм был предложен в конце 40-х годов С.А. Жевакиным, а позже подробно исследован Н. Бейкером и Р. Киппенханом (Памятных 1994). Однако, имеется некоторая неопределенность в положении этих звезд на Г-Р диаграмме, связанная с принятым содержанием тяжелых элементов, использованием таблиц непрозрачностей и неопределенностью наблюдательных данных и фотометрических калибровок. Исследование таких звезд в двойных системах позволит избавиться от неопределенностей в фотометрических калибровках.

1.2 Каталог галактических массивных тесных двойных систем ранних спектральных классов, принадлежащих Главной последовательности. Наблюдаемые характеристики.

Для исследования типичных наблюдательных проявлений присутствия газовой составляющей в горячих массивных тесных двойных системах, принадлежащих Главной последовательности был создан каталог физических, геометрических, эволюционных характеристик данного класса объектов, их спектральных и фотометрических особенностей, поведения орбитальных периодов. Приведены данные о поведении их в радио- и рентгеновском диапазонах, информация о возможных проявлениях газовых структур в окрестности систем. Каталог предполагалось использовать при подготовке наблюдательных программ и в анализе и интерпретации наблюдательного материала конкретных звездных систем данного класса.

В основе каталога лежит компилятивный карточный каталог галактических массивных ($M > 10M_{\odot}$) тесных двойных систем с горячими компонентами составленный на базе Общего Каталога Переменных Звезд (ОКПЗ) (1985), каталога спектрально - двойных звезд Batten (Batten A.H., Fletcher J.M., Mac Carthy D.G., 1989), карточного каталога переменных звезд ГАИШ. Он непрерывно дополнялся сведениями из периодических и оригинальных источников. В каталог не включены O(f), O((f)), WR и системы с релятивистскими компонентами. В настоящее время выборка содержит 186 тесных двойных системы спектрального класса более раннего, чем ~B5. Граница выбрана с запасом, так как "засоренность" систем газом создает трудности в интерпретации наблюдений спектральных линий. В каталоге собрана информация о результатах наземных и внеатмосферных спектральных, фотометрических и поляриметрических наблюдений, результатах и методах интерпретации этих наблюдений. На основе карточного каталога в системе Microsoft Access создана база данных. Результаты систематизации в виде двух таблиц приведены в приложении данной работы. Общий список систем, которые могут быть рассмотрены как кандидаты в МТДС с основными характеристиками, приведен в таблице 1 приложения. Для 80 систем из них известны оценки масс, для 68 систем имеются неоднократные спектральные наблюдения и неоднократные наблюдения кривых изменения блеска. Все выводы сделаны по этим 68 системам, при этом системы были предварительно распределены по их конфигурациям: разделенные, полуразделенные, контактные, а также три группы со спорными их определениями. Таблица 2 приложения (Каталог массивных тесных двойных систем с горячими компонентами) содержит 68 из указанных выше систем. Она структурирована по конфигурациям систем. Ниже приводится структура приведенного в приложении каталога.

Структура каталога

Списки звезд даны в алфавитном порядке созвездий по латинскому алфавиту. В конце списка звезд данного созвездия приведены имена звезд уже имевшие греческие или латинские буквенные обозначения до открытия их переменности и широко известные под этими обозначениями.

Таблица 1 приложения «Список кандидатов в массивные тесные двойные системы с горячими компонентами» включает все системы и содержит следующую информацию

- 1 колонка - порядковый номер по каталогу автора.
- 2 колонка - номер по каталогу HD.
- 3 колонка - название звезды, принятое в Общем Каталоге Переменных Звезд (ОКПЗ).
- 4 колонка - спектральный класс по наиболее поздним определениям.
- 5 колонка - оценка массы компонентов системы.

Таблица 2 приложения «Каталог горячих массивных тесных двойных систем принадлежащих Главной последовательности» включает 68 систем и содержит следующую информацию

- 1 колонка - порядковый номер по каталогу
- 2 колонка - номер по ОКПЗ
- 3 колонка - тип кривой блеска,
- 4 колонка - классификация систем по степени заполнения компонентами внутренней критической полости Роша
- 5 колонка - эволюционный статус системы,
- 6 колонка - орбитальный период, в данной таблице приведен с точностью до третьего знака после запятой,
- 7 колонка - наличие изменений периода,
- 8 колонка - спектральный класс компонентов; при наличии нескольких определений спектрального класса, предпочтение отдавалось более поздним, с учетом надежности определения,
- 9 колонка - наличие особенностей в спектре; наличие неоднозначности в спектральной классификации, связанной с нестационарностями в спектрах, отмечено звездочкой,
- 10 колонка - оценка масс компонентов; при наличии нескольких определений, предпочтение отдавалось более поздним, полученным на базе спектроскопических и фотометрических наблюдений,
- 11 колонка - потеря массы системой, а также наличие некоторых

особенностей, оказывающих влияние на кривую блеска, большой разброс в определении масс компонентов, отмечено звездочкой,
 12 колонка - эксцентризитет орбиты системы,
 13 колонка - наличие визуальных компонентов,
 14 колонка - наиболее важные примечания, не нашедшие отражения в колонках таблицы, но несущие важную информацию о наблюдательных проявлениях системы.

При отборе систем по спектральному классу для большого количества звезд обнаружилась противоречивость оценок этой характеристики, выполненных разными авторами. Наиболее характерные из них приведены в таблице 1.2.1. Для некоторых систем различия в оценках превышают один спектральный класс. Это обращает на себя внимание, поскольку классификация в области O8-B2 проводится достаточно надежно, с точностью до половины подкласса, а иногда и точнее. Более подробное знакомство с материалом обнаруживает многочисленные нестабильности в спектрах: наличие эмиссионных линий, появление профилей линий типа PCyg. У некоторых систем наблюдаются изменения спектрального класса компонентов: так у AO Cas спектр главного компонента изменяется с фазой от O9.1 до O8, эмиссия в H_α носит неправильный характер (Харвиг 1987), меняются K1 и K2 (Mannino 1959); определения класса светимости V505 Mon меняются от карлика до сверхгиганта и обратно (Chochol et all. 1985); спектр первого компонента V640 Mon меняется от O6.5 до O8.0 (Галкина 1967); появляются и

Таблица 1.1.1

N	ЗВЕЗДА	ТИП	ОЦЕНКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ	ПРИМЕЧАНИЕ
1	OX Cas	DM	BIV; B6; B8; B0V; (B2V+B2V)	
2	XZ Cep	DM	B5; O9.5V; (B5+[A2]); O9.5V+A2III:); (B1.5II/III+BIII-V)	
3	CW Cep	DM	B1.5; (B3+B3V:ea); (B0.5+B0.5IV-Vea)	эмиссия в H _α
4	EO Aur	DE	B5; (O9-B0+B3); (B3+B8); (B3V+B3V)	
5	μ ¹ Sco	SDZ	(B3+B3); B1.5V+B6.5V); (B2+[B5])	
6	V382 Cyg	KZ	(B5+B5); (O7+O7); (O7+O8V); (O6.5+O7.5); (O9+B0)	
7	TN Mus	KZ	(O8.5V+O8); (B3+B3)	
8	V367 Cyg	D,SD,K	(B1III+B3III); (B8III+A1III); (F2e+[F5]); (F5A+A3)	H _α в эмиссии
9	GW Car	SDE,KE	B5; B1III:; B8; B0.5III; B6II-III	
10	SV Cen	SD,K	(B1+B2); (B1V+B6.5II-III); (B1III+B4) B8	Профили типа PCyg
11	VV Ori	DM,KM	B1.5; (B1V+B4V); (B1V+B7V); (B2+B9); (B1V+B1V)	
12	AO Cas	SD	B9V; A9; (B3+B9); (B0.5+B3); A0+[F0])	

исчезают линии второго компонента в спектре системы V367Cyg (Глазунова, Менченкова 1989, Менченкова 1985).

В данной таблице и в последующих используются следующие обозначения:

DZ - разделенные системы вблизи нулевой ГП,

DM - разделенные системы ГП,

DE- разделенные системы проэволюционировавшие с ГП,

SDZ- полуразделенные системы вблизи нулевой ГП,

SDM-полуразделенные системы главной ГП,

SDE -полуразделенные системы проэволюционировавшие с ГП,

KZ - контактные системы вблизи нулевой ГП,

KM - контактные системы ГП,

KE - контактные системы, проэволюционировавшие с ГП,

GS - системы с гигантами и субгигантами,

Ell - системы переменность блеска которых вызвана эллипсоидальностью компонентов.

В ряде работ, используемых при составлении каталога, показано, что околозвездные оболочки даже у относительно спокойных, с точки зрения наблюдательных проявлений, систем заметно влияют не только на линейчатые спектры систем, но и вносят существенный вклад в континуум.

Различия в определении масс компонентов разными авторами также часто превышают точность определения их, указываемую обычно в каталогах как 20%, а то и выше. Наиболее характерные примеры даны в таблице 1.2.2. Этот параметр определяется из решения кривых лучевых скоростей и кривых изменения блеска. Нестационарность как первой так и второй, безусловно, повлечет к различию результатов их анализа, иногда достаточно большим, а также к неоднозначности решения.

Отмеченные явления далее будут указываться как нестационарности, наблюдаемые в системах. К проявлениям нестационарности отнесены и многие разновидности изменений периодов, наличие рентгеновского и радио излучений, все что может указывать на присутствие крупных газовых образований в системах. Как оказалось, только у трех систем из всего каталога: V478 Cyg (DZ), DM Cas (DM), j Ori (Ell), не зарегистрированы отмеченные явления нестационарности. Не исключено, что такое положение связано с недостатком информации об этих звездах.

Можно сделать вывод, что наличие крупных газовых структур вокруг массивных двойных систем с горячими компонентами, которые заметным образом проявляются в наблюдениях, вероятно, есть общее явление, не зависящее от конфигурации и эволюционного статуса системы. Различия, видимо, стоит искать в особенностях его проявления. Их наличие может быть объяснено, например, сильным звездным ветром, обусловленным большой массой и высокой светимостью звезд

(зарегистрированным у ряда систем при внеатмосферных наблюдениях). По наблюдаемым оценкам звездный ветер у таких звезд должен составлять 10^{-7} - 10^{-5} М \odot /год (Snow, Morton 1976; Barlow et al. 1982). Заполнение одним из компонентов своей полости Роша должно значительно увеличить эту оценку и изменить динамику его проявления.

Нестационарные явления, такие как изменения кривой блеска, изменения кривой лучевых скоростей, переменное радио и рентгеновское излучение, наличие переменности в спектрах систем, вероятно, являются следствием изменений в газовых структурах, обусловленных либо неустойчивостями одного из компонентов, либо внешним фактором, например, близостью третьего тела, либо особенностями динамики газа при конкретной конфигурации системы, либо переменной скоростью истечения вещества компонент.

В каталоге встречаются звезды с компонентами $M < 10M\odot$, это связано чаще всего с большим разбросом оценок масс, полученных разными авторами. Ряд систем были удалены из каталога после того, как при анализе результатов наблюдений было учтено влияние газа, и массы компонентов стали меньше 10 М \odot (например, см. V367 Cyg в таблице 1.1.2).

Таблица 1.1.2

N	ЗВЕЗДА	ТИП	ОЦЕНКИ МАСС КОМПОНЕНТОВ В М \odot	ПРИМЕЧАНИЯ
1	EO Aur	DME	(11+7); (10-12+6-8); (19.8+19.7); (26.7+26.4); (21.5+21.4); (20.4+20.4)	иногда бывает волна на кривой блеска
2	V1182 Aql	SDZ	(37.8+13.5); (29+11); (75+15); (28+10.7)	
3	V382 Cyg	KZ	(37.4+32.8); (26.7+18.9); (26.9+19.0); (10+10)	
4	V599 Aql	KM	(18.4+11.5); (10.5+6.5)	
5	UW CMa	K(E+M)	(46+34); (23.5+19.3); (29+24); (39.2+29.6); (43.5+32.5)	
6	V367V Cyg	DM, SD	(7.6+7.3); (9.6+8.0); (19+12); (2.3+3.6); (1.5+1.3); (13.8+9.7); (8+7)	
7	AO Cas	SD, K	(29.2+24.6); (23+18); (29.8+27.8); (23.3+16.8)	
8	DH Cep	DM, KM	(42-65+35-54); (23+19); (33.8+28.2)	
9	VV Ori	DM, KM	(7.6+3.4); (9.3+4.3); (10.2+4.5); (16.9+5.7); (1.6+1.6)	
10	V505 Mon	GS	(13-15+11-12); (50+27)	
11	V453 Sco	GS	(22+13); (30+27)	Кривая блеска меняется
12	RY Sct	GS	(39+16); (28+9.5); (49+39); (46+36); (35+11)	кривая блеска меняется
13	BM Ori	?	(5.3+2.9); (1.5+11.0); (5.5+1.6); (36+9)	кривая блеска меняется, меняется I минимум
14	ψ Ori	?	(12.0+7.6); (18.7+5.3)	

Из сказанного выше возникают по крайней мере два вопроса: 1) насколько могут быть искажены влиянием газа определяемые из классических моделей физические параметры МТДС; 2) какова степень доверия к этим параметрам? Сейчас уже появились работы (Антохина и Черепашук 1987, 1988, Пустыльник, Эйнасто 1985, 1992, Бисикало и др. 1997а, б, 1998), авторы которых, на основе предложенных ими моделей, попытались учесть этот вклад и оценить качественно и количественно эффекты вызванные влиянием некоторых газовых структур. К сожалению, оценки эти выполнены только при численном моделировании систем с газом, а при анализе конкретных наблюдений выдвигаются предположения, что элементы орбиты и параметры звезд известны заранее. МТДС с горячими компонентами, видимо, являются очень важным массивом для переопределения их физических и геометрических параметров с учетом вклада газовой составляющей, т.к. классические методы определения характеристик систем, скорее всего, крайне приблизительны или неприменимы вообще.

Автору не встречались выборки звезд данного класса, где можно было бы наглядно проследить влияние газа, присутствующего в окрестностях систем, практически на все наблюдаемые характеристики таких систем и разнообразие форм его влияния в различных методах наблюдений.

Глава 2. Фотоэлектрические наблюдения четырех горячих массивных тесных двойных систем

2.1 Метод фотоэлектрических наблюдений

2.1.1 Постановка задачи

Задача данной работы состоит в исследовании фотометрических проявлений газовых структур в МТДС с горячими компонентами. Это значит, что кроме измерения изменений блеска, связанного с орбитальным движением звезд около центра масс, необходимо зарегистрировать и исследовать менее масштабные по времени и амплитуде изменения блеска, вызванных присутствием в системах газовых комплексов. Предел регистрируемых изменений задан точностью наблюдений и плотностью регистрации сигналов от исследуемой звезды. Следовательно, задача состояла в получении наблюдений с максимально возможной точностью и высокой временной плотностью регистрации сигнала. Масштаб явлений в начале исследований был неизвестен. Если эти явления стационарны, тогда надо подтвердить их на нескольких орбитальных перекрытиях. Если они не стационарны, то надо оценить временную шкалу этих явлений, и тоже найти возможность подтвердить их реальность. Исследование изменений блеска в четырех фотометрических полосах UBVR позволит судить о температурных характеристиках и сделать грубые предположения об их физической природе.

В качестве исследуемых объектов были выбраны три затменные переменные звезды: UU Cas, CC Cas, SZ Cam. В процессе наблюдений добавилась звезда V368 Cas. Она была контрольной звездой при исследовании CC Cas. Звезда была выбрана по цвету, по пространственному положению и достаточно долго не проявляла свою переменность. Оказалось, что она имеет алголеподобную кривую блеска с достаточно продолжительным периодом. Поэтому она не утратила своих функций контрольной звезды и стала еще одним объектом для исследования.

При планировании наблюдений указанных ТДС эти системы не имели высокоточных фотоэлектрических наблюдений и казались достаточно интересными объектами в статистическом плане. Кроме исследования проявлений газа в системах стояла также задача получения надежных кривых изменения блеска для определения относительных и абсолютных параметров орбит и звезд. Данные о звездах, взятые из ОКПЗ, приведены в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1 Список исследуемых звезд

Имя зв.	HD(BD)	m_{\max}	Δm (m)	P (d)	Sp	Примеч.
SZ Cam	25636	7.0(B)	0.29(B)	2.698	O9IV+BV	
UU Cas	+60 2929	10.4(p)	0.40(p)	8.519	B0.5III	
CC Cas	19820	7.59(B)	0.15(B)	3.369	O9.3IV+O9IV	
V368 Cas	19644	8.5(p)	0.70(p)	4.452	B3III	$\Sigma 485$

2.1.2 Приемная аппаратура

Наблюдательный материал был получен в астрономической обсерватории Уральского госуниверситета на 45-см телескопе АЗТ-3 с 1980 по 1990гг. и на Ташкентской обсерватории Узбекской Академии Наук на горе Майданак на 50-см телескопе АЗТ-14 в октябре 1988г.

Наблюдения, проведенные в астрономической обсерватории УрГУ, выполнялись на телескопе АЗТ-3, оснащенном одноканальным электрофотометром, установленным в фокусе Кассегрена (эффективное фокусное расстояние равно 10.5 м). Фотометр укомплектован двумя блоками фильтров: блоком нейтральных фильтров и блоком фильтров, обеспечивающим фотометрическую систему, близкую к системе UBVR Моргана и Джонсона. Регистрация информации производилась в режиме счета фотонов, вывод данных мог осуществляться либо на перфоленту, либо в память ЭВМ "Наири-К". С целью экономии машинного времени вся информация с фотометра и кодированные замечания наблюдателя записывались на перфоленте. Схема одноканального звездного фотометра является классической и здесь не приводится. Стабильность работы фотометра контролировалась с помощью радиоактивного источника света. Изменения его показаний в течении отдельной ночи не превышали 0.003м.

Наблюдения на Ташкентской обсерватории Узбекской АН на горе Майданак проводились на телескопе АЗТ-14 (диаметр зеркала 50-см, эффективное фокусное расстояние равно 9 м) с одноканальным фотометром в режиме счета фотонов в четырех фотометрических полосах UBVR. Регистрация наблюдений проводилась на бумажную ленту.

2.1.3 Дифференциальные наблюдения

Наблюдение переменной звезды чаще всего состоит в том, что производится сравнение ее блеска с блеском стандартной звезды (звездой сравнения), о стационарности которой имеется надежная информация. Звезда сравнения, расположенная в непосредственной близости от исследуемой, наблюдается, практически, в тех же атмосферных условиях и служит "0-пунктом" при измерениях. Величина и цвет звезды сравнения предполагаются известными (их можно определить при параллельных наблюдениях одним из указанных ниже методов

наблюдений). Для того чтобы исключить влияние атмосферной экстинкции и изменение фотометрической системы, разности величин и цветов переменной и звезды сравнения следует перевести во внеатмосферные, трансформированные к стандартной фотометрической системе с помощью следующих линейных соотношений:

$$\Delta m_0 = \Delta \{m(z) - [a_m + b_m c(z)] M(z)\} + B_m \Delta c_0,$$

$$\Delta c_0 = B_c \Delta \{c(z) - [a_c + b_c c(z)] M(z)\},$$

где $\Delta m(z)$ - наблюдаемая разность звездных величин в инструментальной фотометрической системе,

$\Delta c(z)$ - наблюдаемая разность цвета звезд в инструментальной фотометрической системе,

Δm_0 - внеатмосферные, трансформированные к стандартной системе разности звездных величин,

Δc_0 - внеатмосферные, трансформированные к стандартной системе разности показателей цвета звезд,,

$M(z)$ - значение воздушной массы конкретной звезды,

z - зенитное расстояние звезды,

$a_m, b_m, a_c, b_c, B_m, B_c$ - коэффициенты трансформации инструментальной фотометрической системы к стандартной. Здесь B_m, B_c, b_m, b_c ответственны за шкалу показателей цвета, а a_m, a_c ответственны за 0-пункт фотометрической системы

Поскольку различие воздушных масс переменной и звезды сравнения при дифференциальных наблюдениях мало, как правило, достаточно знать приближенные значения коэффициентов трансформации $a_m, b_m, a_c, b_c, B_m, B_c$, полученные по наблюдениям с данным фотометром.

2.1.4 Учет влияния атмосферы на результаты наблюдений

Методы учета влияния атмосферы на результаты наблюдений разнообразны и разработаны для классических обсерваторий с хорошим астроклиматом. В основе всех этих методов лежит уравнение:

$$m_0 = m - \alpha \cdot M(z), \quad (1),$$

где m_0 - внеатмосферная звездная величина, m - наблюдаемая звездная величина, $M(z)$ - значение воздушной массы, определяемое отношением величины поглощения в атмосфере на данном зенитном расстоянии к величине поглощения в зените, z - зенитное расстояние звезды, α -коэффициент экстинкции. Если в течение ночи атмосферная прозрачность не меняется, то яркость звезды будет меняться пропорционально воздушной массе. На графике $m[M(z)]$ звезда в течение ночи будет линейно менять свою яркость прямой (этую прямую в фотометрии называют прямой Буге). Продолжение линии Буге до абсциссы $M=0$ дает внеатмосферную звездную величину m_0 в системе инструмента, а наклон линии дает значение коэффициента экстинкции α . Если известна

внеатмосферная звездная величина m_0 , то коэффициент экстинкции может быть определен по одному наблюдению этой звезды:

$$\alpha = (m_0 - m)/M(z). \quad (2)$$

Для исключения изменений чувствительности аппаратуры Gutierrez-Moreno, Stock et all. (1966) предложили использовать две звезды, имеющие склонение, близкое к широте обсерватории и разделенные по прямому восхождению на 4 часа. Такая пара наблюдается один раз, когда первая звезда расположена около меридиана, а вторая - на востоке. Следующее наблюдение делается, когда вторая звезда поднимается к меридиану, а первая находится на западе. Разности величин $(m_{1A} - m_{1B})$ и $(m_{2A} - m_{2B})$ свободны от изменений чувствительности аппарата, т.к. составлены из практически одновременных наблюдений. В этом случае коэффициент экстинкции

$$\alpha = \frac{(m_A - m_B) - (m_{2A} - m_{2B})}{(M_A - M_B) - (M_{2A} - M_{2B})}. \quad (3)$$

Если известны внеатмосферные величины звезд, то достаточно одного наблюдения этой пары стандартных звезд

$$\alpha = \frac{(m_A - m_B) - (m_{0A} - m_{0B})}{M_A - M_B}. \quad (4)$$

Приведенные выше рассуждения относятся к монохроматическим звездным величинам. В случае гетерохромных величин α становится зависимым от истинного распределения энергии в спектре звезды, которое зависит от температуры звезды, светимости и межзвездного покраснения. В результате коэффициент экстинкции выражают линейной функцией показателя цвета звезды C :

$$\alpha = \alpha_0 + \gamma C. \quad (5)$$

Второй эффект, эффект ширины полосы реакции, заключается в том, что сам коэффициент α становится функцией воздушной массы $M(z)$, т.е. линии Буге могут оказаться кривыми (эффект Форбса). Обычно он проявляется на больших воздушных массах, $M(z) > 3$ (наблюдения на таких воздушных массах в нашей обсерватории не проводятся).

Если бы атмосферная экстинкция была постоянна в течение ночи, коэффициент α можно было бы определить по одному из описанных способов. Однако, постоянство экстинкции в течение длительных периодов выполняется лишь в горных обсерваториях с очень хорошим астроклиматом (сухой воздух, отсутствие циркусов и пыли) и при отсутствии азимутальных факторов. В большинстве обсерваторий следует ожидать изменения α в течение ночи. Это делает учет экстинкции весьма сложным и трудоемким, как в смысле наблюдений, так и в смысле обработки данных. Если известны точные внеатмосферные величины стандартных звезд и их показатели цвета, возможно учитывать мгновенные значения коэффициента экстинкции (формулы 2, 5). Таким образом, основная проблема учета атмосферного поглощения - это

определение внеатмосферных величин и показателей цвета стандартной звезды в инструментальной системе.

Внеатмосферные инструментальные величины и показатели цвета стандартных звезд можно получить путем усреднения значений m_0 и c_0 , полученных методом Буге для ночей с действительно стабильной прозрачностью. Для этого стандартная звезда должна наблюдаваться в течение всей ночи, причем желательно, чтобы она наблюдалась как до, так и после кульминации. Совпадение обоих участков линии Буге является критерием устойчивости прозрачности в течение данной ночи.

Однако, иногда за период наблюдений невозможно найти достаточное количество ночей с устойчивой прозрачностью. В результате, определенные выше описанным методом внеатмосферные звездные величины и показатели цвета будут содержать ошибки Δm_0 и Δc_0 . Для определения этих ошибок Никонов (1944, 1953) предложил метод, для выполнения которого необходимо включить наблюдения дополнительных звезд, на значительно отличающихся от стандартной звезды зенитных расстояниях. Только в этом случае можно наиболее точно определить эти поправки.

Вышеизложенные методы учета атмосферной экстинкции, по сути дела, применимы к монохроматическим величинам, т.к. не учитывают зависимости α от распределения энергии в спектре звезд

$$c - c_0 = \alpha_0 M = -2.5 \left(\lg \frac{\int J(\lambda) \varphi_1(\lambda) p^x(\lambda) d\lambda}{\int J(\lambda) \varphi_1(\lambda) d\lambda} - \lg \frac{\int J(\lambda) \varphi_2(\lambda) p^x(\lambda) d\lambda}{\int J(\lambda) \varphi_2(\lambda) d\lambda} \right). \quad (6)$$

Коэффициент γ слабо зависит от кривой прозрачности атмосферы $p(\lambda)$ и фактически является константой. Обычно он определяется из параллельного наблюдения пары близко расположенных звезд очень различающихся спектральных классов и определяется как

$$\gamma = \frac{\Delta \alpha}{\Delta c}.$$

В нашем случае γ определялась при наблюдении стандарта в рассеянных скоплениях для контроля фотометрической системы инструмента.

2.1.5 Осуществление контроля фотометрической системы UBVR

Не менее важным является тщательное осуществление контроля фотометрической системы. Недооценка этой проблемы приводит к потере высокой точности, которая свойственна фотоэлектрическим приемникам излучения.

Каждая комбинация телескопа, фильтров и приемников света определяет свою собственную систему величин и цветов, "естественную" систему инструмента. Для абсолютно черных тел измерения показателя цвета в различных естественных системах легко преобразуются

посредством простых линейных уравнений при условии, что исключены длинноволновая область и высокие температуры. Показатели цвета C_1 и C_2 одного и того же черного тела, измеренные в слегка различающихся системах, можно связать с удовлетворительной точностью посредством линейного соотношения

$$C_2 = \mu C_1 + \zeta_c. \quad (7)$$

Для реальных звезд достаточно простые уравнения первой и второй степени часто могут удовлетворять требуемой точности, если соблюдаются определенные условия: 1) система цветов, к которой осуществляется переход, должна быть как можно ближе к исходной в отношении эффективных длин волн и ширины полос; 2) основные нарушения непрерывности, такие как бальмеровский скачок, следует исключить или по крайней мере включить в соответствующие полосы обеих систем в почти одинаковой степени, 3) нельзя находить соотношения для звезд со значительно отличающимися характеристиками. С этими оговорками обычно оказывается, что преобразование типа (7) можно использовать для показателя цвета, а для величин может быть пригодна форма

$$m_2 = m_1 + \varepsilon C_1 + \zeta_m. \quad (8)$$

Таким образом, если наблюдалось достаточное число звезд, общих для двух подобных систем, то константы шкалы ε и μ и константы нуль-пункта ζ_m и ζ_c можно определить эмпирически.

Чтобы обеспечить минимальную потерю точности при переходе от естественной системы наблюдателя к некоторой стандартной системе, проводится сопоставление спектральных полос этой системы (фильтры используемого нами фотометра ФЭУ исследовалась Пыльской 1970).

Коэффициенты трансформации фотометрической системы можно определить, проводя наблюдения ряда звезд в звездном скоплении, для которых имеются выполненные в стандартной системе измерения. Из наблюдений определяются разности $\Delta m(z)$, $\Delta c(z)$ по отношению к одной из звезд, которые используются далее в соответствующих условных уравнениях при определении коэффициентов трансформации методом наименьших квадратов. Любая естественная система с течением времени постепенно меняется, так как имеются некоторые сезонные и возрастные факторы (запыленность некоторых оптических элементов системы, влияние на спектральные характеристики температурного режима, старения некоторых покрытий и фильтров и т.д.), оказывающие влияние на ее характеристики. Поэтому необходимо периодически определять заново коэффициенты преобразования.

Для контроля системы и приведения ее к международной системе UBVR, в наилучшие ночи выполнялись наблюдения фотометрических стандартов. В качестве стандартов были использованы звезды в скоплениях NGC6882/5, Гиады и Волосы Вероники. Один из них использовался как весенний стандарт, а другие два как осенний.

Наблюдения стандарта по возможности выполнялись в каждый наблюдательный сезон весной и осенью. Подбор звезд производился равномерно по шкале звездных величин V и шкалам цветов звезд. По результатам наблюдений звезд стандарта составляются системы нормальных уравнений типа (9) для определения коэффициентов редукции фотометрической системы:

$$V = v_0 - \varepsilon (B-V) + \zeta_v, \quad (9)$$

$$B-V = \mu (b-v)_0 + \zeta_{bv},$$

$$U-B = \psi (u-b)_0 + \zeta_{ub},$$

$$V-R = \eta (v-r)_0 + \zeta_{vr}.$$

2.2 Исследование астроклимата и постановка методики наблюдений

Для наблюдений звезд был использован описанный выше дифференциальный метод. Наблюдения были проведены преимущественно в Астрономической обсерватории Уральского госуниверситета, в 100 километрах от Екатеринбурга. Обсерватория относится к типичным равнинным обсерваториям, а из этого следует небольшое количество фотометрического времени, в основном неустойчивая прозрачность и атмосферные дрожания в среднем 8-10''. Однако, в связи с удаленностью обсерватории от крупных городов и тем, что она окружена большим лесным массивом, атмосферная прозрачность достаточно высокая.

В методе дифференциальных наблюдений предполагается, что яркость звезды, испытывая атмосферное поглощение, меняется плавно. Поэтому часто в методах наблюдений можно встретить рекомендации достаточно редкого наблюдения стандартных звезд. Поскольку, используемый метод является относительным, то в наших условиях это приводит к потери точности наблюдений. Специально выполненные в 1979-1980гг. электрофотометрические наблюдения, и все последующие, проводимые по программе, показали, что атмосферная прозрачность очень заметно меняется в течении ночи около некоторого среднего значения. На рис. 2.2.1, 2.2.2 приведены примеры таких изменений. Из графиков видно, что яркость двух звезд со временем меняется. Изменения яркости этих звезд повторяют друг друга. Кроме тренда, обусловленного изменением воздушной массы, наблюдаются изменения, связанные с кратковременными изменениями прозрачности. Результат исследования характеристик флюктуаций прозрачности приведен в таблице 2.2.1. В случае наблюдений на одноканальном фотометре производятся последовательные наблюдения стандартных звезд (звезда сравнения и контрольная звезда), исследуемой звезды, фона неба в окрестности звезд, и постоянного источника света. Как видно из таблицы, за счет увеличения частоты наблюдения стандартной звезды, идя на разумные компромиссы в наблюдениях, можно надежнее получить положение 0-пункта и увеличить точность наблюдения переменной звезды. К таким компромиссам можно отнести 1) сокращение наблюдения люминофора до 2-3 раз в ночь (поскольку предварительные наблюдения показали большую стабильность усилителя ($\sigma=0,003''$); плавные изменения усиления и изменения его в сезоне, если таковые имеют место, автоматически исключаются самим дифференциальным методом для одноканального фотометра:

$$m_2 - m_1 = -2.5 \lg [(n_1 - n_{\text{фон}})k / (n_2 - n_{\text{фон}})k], \quad (10)$$

где k -коэффициент усиления, n - соответствующий отсчет, $m_2 - m_1$ - разность соответствующих звездных величин)

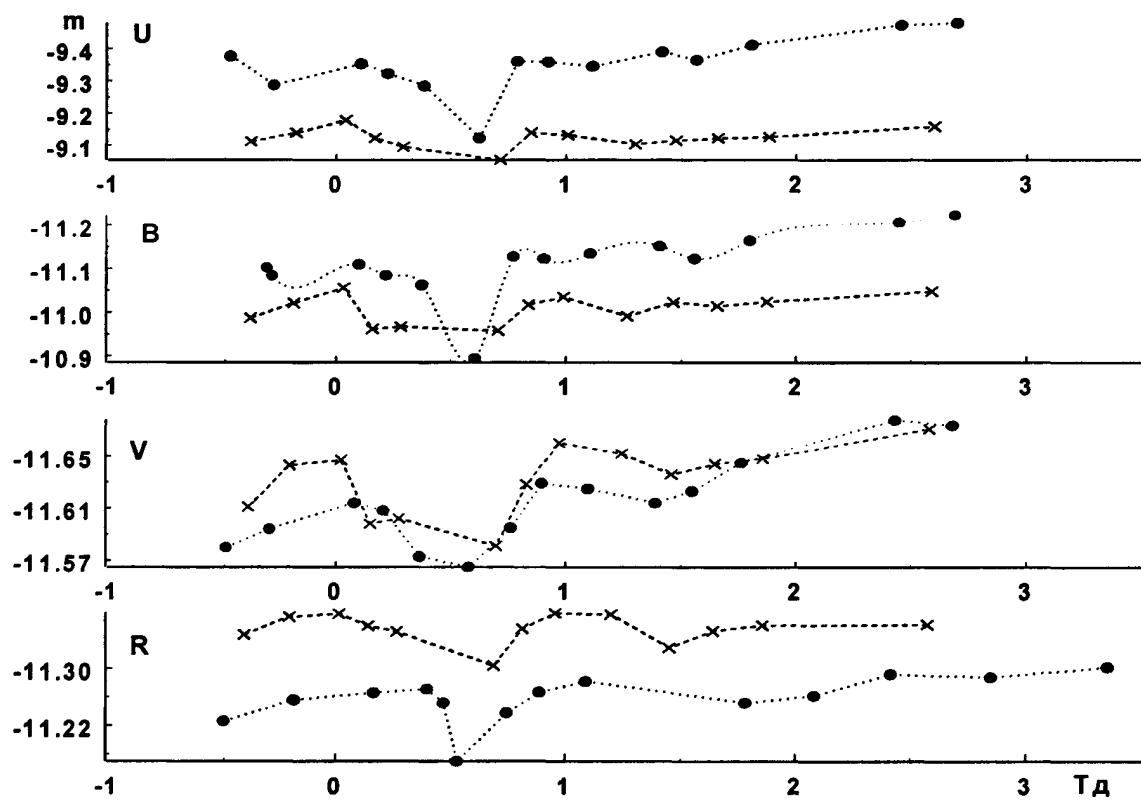


Рис.2.2.1 Изменение прозрачности 25-26.4.79

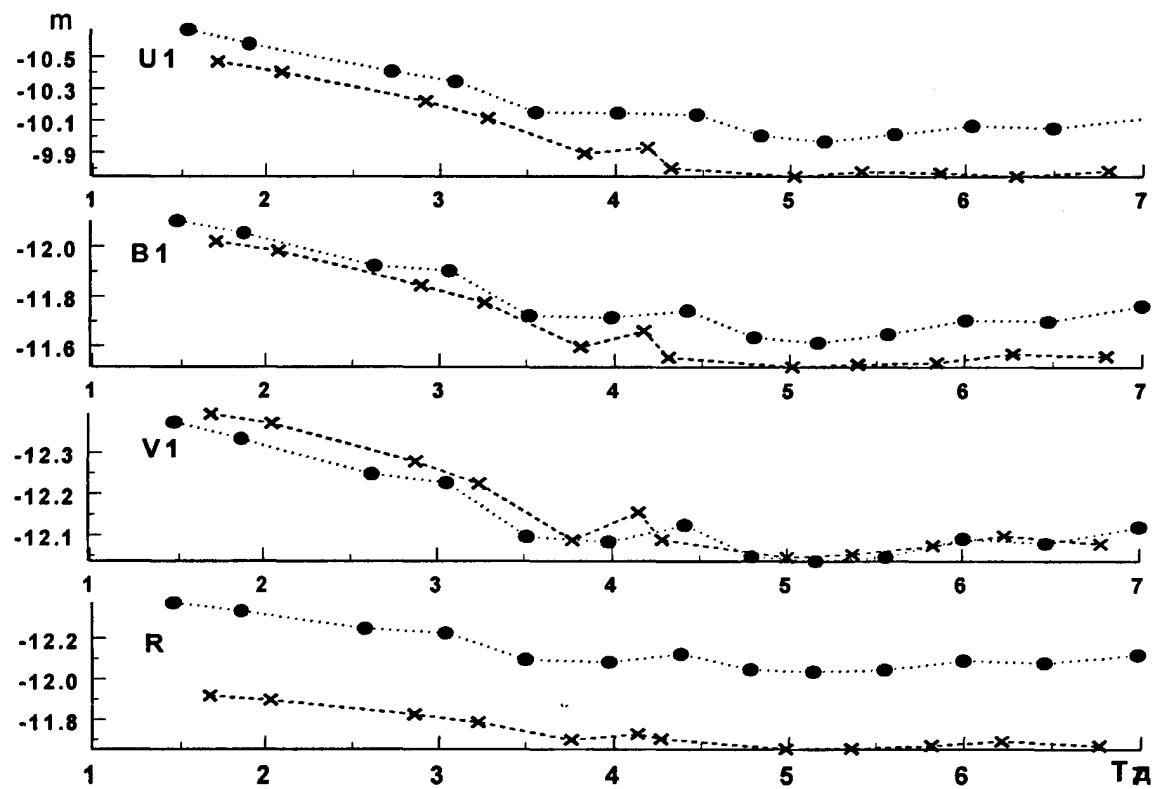


Рис.2.2.2 Изменение прозрачности 15-16.2.79

наблюдения люминофора сохранены только для некоторых чрезвычайных ситуаций; 2) внутри цикла сокращено число оценок одной и той же звезды до 2, но увеличено время накопления сигнала до 10^s ; 3) сокращено наблюдение фона до одного раза в три цикла. Наблюдения, как правило, проводились в безлунные ночи. В этом случае отсчеты на фон на два порядка меньше отсчетов для исследуемых звезд, поэтому колебания фона не дадут заметного вклада в результирующую ошибку измерения. Получены следующий вывод: если прозрачность достаточно стабильна, увеличение частоты наблюдения звезды сравнения не имеет смысла, но увеличение частоты очень эффективно, при худшем состоянии атмосферной прозрачности. Таким образом, в астроклиматических условиях нашей обсерватории такая методика позволила увеличить число наблюдательных ночей и наблюдательного времени при сохранении высокой точности результата.

Как было отмечено в предыдущем разделе, стандартная звезда является своеобразным "0-пунктом", поэтому она должна достаточно подробно отражать состояние этого уровня. Если принять минимально допустимый масштаб времени флуктуаций экстинкции = 20 мин., при котором еще имеет смысл проводить дифференциальные наблюдения, то для надежной интерполяции стандартной звезды на момент наблюдения исследуемой и сохранения высокой точности, стандартная звезда за этот срок должна наблюдаваться не менее 4-5 раз. Иначе говоря, плотность наблюдения стандартной звезды не должна быть менее 5 мин.

Таблица 2.2.1 Исследования астроклиматика Коуровской обсерватории

Дата	Амплитуда колебаний (m)	Временной масштаб колебаний	Средняя частота наблюдения стандартной	Среднее σ (m)
1979г	V B	мин.	мин	V B ± ±
15-16.2	0.025 0.067	35 - 15	28	0.007 0.016
16-17.2	0.008 0.007	~30	37.5	0.008 0.009
20-21.3	0.005 0.014		23	0.003 0.009
21-22.3	0.070 0.065	40 - 25	22.5	0.026 0.051
27-28.3	0.055 0.070	60 - 30	34.5	0.017 0.022
31.3-1.4	0.077 0.092	35 - 55	17	0.034 0.025
5-6.4	0.025 0.040	40 - 15	18.5	0.017 0.017
25-26.4	0.030 0.055	20 - 35	16.5	0.021 0.022
1980				
24-25.1	0.017 0.020	10 - 20	6	0.009 0.008
25-26.1	0.072 0.053	10 - 30	5.5	0.010 0.011
26-27.3	0.058 0.080	10 - 55	6.3	0.008 0.011
7-8.4	0.020 0.025	10 - 15	4.5	0.010 0.007

Удачный выбор звезд сравнения позволяет значительно сократить рутинные непроизводительные наблюдения, а также повысить точность наблюдений. При подборе должны быть учтены три важных требования.

- 1) Звезда сравнения должна находиться на достаточно близком угловом расстоянии от исследуемой звезды, чтобы уменьшить влияние неточности в учете экстинкции и упростить процедуру ее исключения.
- 2) Звезда сравнения должна иметь спектральный класс, максимально близкий к спектральному классу переменной, чтобы исключить влияние дифференциальной составляющей атмосферной экстинкции. Ее влияние особенно возрастает на больших воздушных массах. В тех случаях, когда при затмениях значительно изменяется цвет переменной звезды, выбирают еще одну или две (по необходимости) звезды сравнения, с более голубыми и более красными, чем у исследуемой, показателями цвета.
- 3) Звезда сравнения должна быть в высокой степени стабильной. Для контроля за стабильностью стандартной звезды выбирается еще одна стандартная звезда - контрольная звезда. Она используется также для оценки точности наблюдений. Контрольная звезда наблюдается значительно реже первой, но достаточно часто, чтобы исключить возможную переменность основной стандартной звезды (в нашем случае примерно один раз в час).

2.3 Алгоритм обработки фотоэлектрических наблюдений

Обработка наблюдений выполнялась по стандартной схеме. Для автоматизации этого процесса был составлен комплекс программ. Считывание информации с фотометра и обработка наблюдений проводилась по программам автора обработки дифференциальных наблюдений, составленным для ЭВМ "Наири К", обеспечивавшей в то время управление и считывание информации с АЗТ-3. Конечным продуктом математической обработки наблюдательных данных по этой программе внеатмосферные разности блеска звезды сравнения и переменной звезды $\Delta m = (m_* - m_{cm})_0$ для каждого используемого спектрального диапазона на момент наблюдения переменной звезды.

Алгоритм обработки данных включал следующие этапы:

1) усреднение отсчета внутри цикла:

$$\bar{n} = \frac{\sum_i^n n_i}{m},$$

2) вычисление средней квадратичной ошибки среднего арифметического:

$$\sigma_n = \pm \sqrt{\frac{\sum_i^m \Delta_i^2}{(m-1)m}},$$

и анализ промаха,

3) линейная интерполяция фона на момент наблюдения звезды :

$$n_t = n_1 + \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} (t_k - t_1),$$

4) вычитание фона:

$$n_* = n - n_{\text{фона}},$$

5) вычисление ошибки результата:

$$\sigma_* = \pm \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_{n_{\text{фона}}}^2},$$

6) вычисление звездных величин:

$$m_* = -2.5 \lg n_* = -2.5 \lg (n - n_{\text{фона}}),$$

7) определение ошибки в звездных величинах:

$$\sigma_m = -1.08575 \frac{\sqrt{\sigma_*^2 + \sigma_{\text{фона}}^2}}{n_* - n_{\text{фона}}},$$

8) интерполяция значения стандартной звезды на момент наблюдения переменной и определение разности звездных величин переменной и звезды сравнения:

$$\Delta m = m_* (t_*) - m_{CT} (t_*),$$

9) вычисление ошибки результата:

$$\sigma_{\Delta m} = \pm \sqrt{\sigma_*^2 + \sigma_{cm}^2}$$

10) перевод декретного времени в доли суток $T_d \rightarrow T$:

$$[(X \text{ сек}/60 + Y \text{ мин})/60 + Z \text{ час}]/24,$$

11) вычисление звездного времени:

$$s = [S_0 + T\delta - 1^h - n^h + \lambda + 9.86^s (T\delta - 1 - n^h)],$$

$$s = [S_0 + T\delta - 1^h 01^m 50^s + 9.86^m (T\delta - 5^h)] 2\pi,$$

12) определение часового угла:

$$t_i = s_i - \alpha_*,$$

13) определение воздушной массы:

$$\operatorname{Sec} Z = 1 / [(\operatorname{Sin} \delta)(\operatorname{Sin} \varphi) + (\operatorname{Cos} \delta)(\operatorname{Cos} \varphi)(\operatorname{Cos} t)],$$

$$M_i(z) = \operatorname{Sec} Z - (\operatorname{Sec} Z - 1)0.0018167 - (\operatorname{Sec} Z - 1)^2 0.002875 - (\operatorname{Sec} Z - 1)^3 * 0.0008083,$$

14) определение юлианской даты:

$$JD_{\odot} = JD_{\text{на}0}^h + T_{\delta} + \Delta_{\odot},$$

где Δ_{\odot} - поправка за движение Земли вокруг Солнца,

$$15) \Delta_{\odot} = -8.308 R \cos \beta \cos (\Theta - \lambda),$$

где R - Расстояние от Земли до Солнца в момент наблюдений, β , λ - эклиптические координаты переменной звезды, Θ - долгота Солнца,

16) вычисление фазы переменности:

$$\Phi = \frac{JD_{\theta} - T_0}{P} - E,$$

где T_0 некоторая эпоха минимума для данной звезды,

16) формирование матрицы и вычисление методом наименьших квадратов внеатмосферного значения стандартной звезды m_0 и коэффициента экстинкции первого порядка k из уравнений вида:

$$m_0 + k M_i(z) = m_i^{'},$$

17) нахождение мгновенного коэффициента экстинкции:

$$\frac{m_i - m_0}{M_i(z)} = k_i(t),$$

18) интерполяция k и $M(z)_{cm}$ на момент наблюдения переменной звезды,

19) исправление наблюдений за поглощение:

$$\Delta m_{0i} = \Delta m_i^{'} - k \Delta M_i.$$

Программа обработки достаточно универсальна, она предусмотрена для нескольких задач фотометрии, наблюдение переменных звезд, наблюдение стандарта в скоплениях, для выполнения каталожных работ. Вся программа состоит из 2-х частей. Первая часть - программа чтения и предварительной обработки. Считывание в память данных, в силу ограниченности места в ОЗУ, производится группами чисел всей информации по одной звезде. При считывании производится одновременное исключение ошибочных величин, замеченных наблюдателем, по символу "ошибка". Далее анализируются и исключаются другие ошибки, усредняются отсчеты, декретное время переводится в доли суток, вычисляется ошибка среднего, происходит сортировка данных и распределение на соответствующих рабочих полях.

Вторая часть программы представляет собой управляющую подпрограмму и пакет подпрограмм, в котором имеются следующие подпрограммы: а) перевод угловых величин, выраженных в градусной или часовой мере, в радианы, б) подпрограмма линейной интерполяции, в) вычисление воздушных масс, г) вычисление контрольных сумм, д) построение бугеровской прямой и определение мгновенных коэффициентов экстинкции, е) метод наименьших квадратов. Управляющая программа производит следующие операции - а) вычитание фона; б) пересчет интенсивностей в звездные величины; в) определение ошибки результата; г) вычисляет ΔV , ΔB , ΔU , ΔR ; д) переход к юлианским датам; е) при необходимости считает фазу периода переменности; ж) исключает поглощение атмосферы. По окончании вычислений печатается таблица следующих значений:

$N_{\text{зв}}$, V , ΔV , $\sigma_{\Delta v}$, $M(z)$, JD_0 , φ , $\Delta M(z)$, ΔV_0 ,
для каждого цвета. Весь материал этой работы, полученный за 10 лет, был обработан с использованием этого комплекса программ.

2.4 Результаты фотометрических наблюдений исследуемых звезд

2.4.1 Наблюдения СС Кассиопеи

Наблюдения СС Cas выполнены на телескопе АЗТ-3 Астрономической обсерватории Уральского госуниверситета в Коуровке в 1980-1982 гг. в системе BV и в 1983 г. в фотометрической системе UBVR. СС Cas [BD+59°0609; HD 19820; $m_{max}=7.06''$ (V); $P=3.368753d$; Sp = O9IV + O9IV]. Данные о звездах сравнения приведены в таблице 2.4.1. Контрольная звезда, BD+59°0607, является затменной переменной звездой V368 Cas с алголеподобной кривой блеска с периодом переменности $P=4.451^d$. По описанной выше методике получено по 740 измерений блеска в каждом из B и V фильтров и по 74 в фильтрах U и R. Результаты

Таблица 2.4.1

Имя зв.	звезда	N по BD	Sp	α_{1950}	δ_{1950}	M
СС Cas	перем.	+59°0609	O9 (B5)	3 ^h 14 ^m 05 ^s 5	59°33'48"5	7.14 ^m
	сравн.	+58°0567	(B5)	3 10 19	59°31'28"7	7.91
V368 Cas	контр.	+59°0607	B3 (B8)	3 12 36	59°55'11"	8.26

наблюдений иллюстрированы на рис. 2.4.2, а в таблице 2.4.4. приведены значения нормальных точек кривой блеска за период 1980-1983 гг. Данные наблюдения редуцированы с помощью описанной выше программы. Точность измерений, определенная по разности блеска контрольной звезды вне затмений и блеска звезды сравнения составила $\sigma_U = \pm 0.016''$, $\sigma_B = \pm 0.008''$, $\sigma_V = \pm 0.008''$, $\sigma_R = \pm 0.009''$. Кривые блеска во всех цветах показывают неглубокие затмения. Амплитуды переменности в каждом цвете составили следующие значения: в R - 0.130^m, V - 0.130^m, B - 0.135^m, U - 0.145^m. Кривая блеска меняется от сезона к сезону на всех фазах периода. Иногда обнаруживаются изменения от ночи к ночи. Наиболее спокойный участок кривой - нисходящая ветвь главного минимума. Еще одна особенность полученной кривой блеска - значительный скачок периода. Поэтому фазы моментов наблюдений, выраженные в долях периода, определялись по новой эфемеридной формуле:

$$JDH I min = 2444959.4158 + 3.366487d * E.$$

Уравнение было получено с использованием моментов минимумов, наблюдавшихся автором и приведенным в таблице 2.4.2. Значение периода, опубликованное в 1980 г. Binzel R., Hartigan P., более чем на 0.002^d отличается от полученного автором, поэтому не могло быть использовано

в данной работе. Использование более ранних моментов минимумов для определения эфемеридной формулы заметно "размывает" кривую блеска.

Поскольку минимум невозможно пронаблюдать полностью за одну ночь и на кривой блеска имеют место значительные депрессии, моменты минимумов в таблице 2.4.2. определялись по сглаженным кривым блеска отдельных сезонов.

Таблица 2.4.2. Моменты минимумов СС Cas, (1980-1988)

JDH I _{min} 2444000+	цвет	JDH II _{min} 2444000+	цвет
528.501	B, V	1412.211	V
663.148	V	1412.210	B
663.144	B		
959.431	V		
959.428	B		
1326.360	B, V		

Вторично эта звезда наблюдалась автором в октябре 1988г. на горе Майданак преимущественно на телескопе АЗТ-14. Наблюдения и обработка выполнены по той же программе и с теми же звездами сравнения. За 12 наблюдательных ночей получено 108 измерений блеска в UBVR цветах Моргана и Джонсона. Результаты наблюдений иллюстрированы на рис. 2.4.3, нормальная кривая блеска приведена в таблице 2.4.5. Средней квадратичной ошибкой одного измерения, имеет значения $\sigma_U = \pm 0.011''$, $\sigma_B = \pm 0.006''$, $\sigma_V = \pm 0.007''$, $\sigma_R = \pm 0.008''$. Фазы периода моментов наблюдения определены по эфемеридной формуле, найденной с учетом нового момента минимума (JDH2447462.2685):

$$JDH I\ min = 2447440.3876 + 3.3663116d * E.$$

Сравнение с наблюдениями автора, выполненными в 1980-1983гг., обнаружило уменьшение общего уровня блеска СС Cas в R-цвете на $0.055''$, в V-цвете на $0.045''$, B-цвете на $0.090''$, в U-на $0.055''$. При этом не наблюдалось изменения общей амплитуды переменности. На восходящей ветви второго минимума наблюдаются колебания блеска. Уровень блеска в этой области кривой, имевший место 8 октября, повторился 28 октября 1988г., т.е. через 7 периодов, и очень отличается от уровня блеска 15 и 18 октября. В фазе 0.59P различия достигли $0.032''$, $0.040''$, $0.048''$, $0.030''$ для RVBU цветовых полос соответственно. Подобные колебания уровня блеска на этих фазах имели место во время наблюдений 1980-1983гг., но амплитуда их была вдвое меньше. Блеск в максимумах, в фазах периоды 0.25P и 0.75P одинаков, в то время как для сравниваемого сезона имелись различия в $0.013''$ в B- и $0.007''$ в V-цвете.

В таблице 2.4.3 дана сводка всех доступных моментов минимумов, по которым получена общая эфемеридная формула:

$$JDH\text{I min} = 2444959,428 + 3.3661291^d * E.$$

Значение периода в данном случае значительно отличается от периода, полученного по наблюдениям 1980-1983гг. На (O-C)-диаграмме (рис.2.4.1.) после 1982г. ($E=0$) наблюдается скачок периода, соответствующий $\Delta P/P = 5.23 \cdot 10^{-5}$.

Таблица 2.4.3. Моменты минимумов СС Cas

JDH2400000+	E	O - C	ИСТОЧНИК
24426.7046	-6099	1.1745d	Pearse (1927)
26000.30	-5632	+0.938	Guthnik, Prager (1930)
29280.648	-4657,5	0.644	Srivastava (1979)
39122.219	-1734	0.291	Srivastava (1979)
9.12.1968г.	минимум	отсутствует	Srivastava (1979)
39469.159	-1631	0.492	Srivastava (1979)
39479.129	-1628	0.354	Srivastava (1979)
41646.9756	-984	0.189	Binzel, Hartigan (1979-80)
43818.166	-339	-0.011	Binzel, Hartigan (1979-80)
44528.501	-128	-0.005	Полушкина (1985)
44663.148	-88	-0.017	Полушкина (1985)
44959.428	0	+0.012	Полушкина (1985)
45051.9935	27	-0.0006	Полушкина (1985)
45326.360	109	-0.003	Полушкина (1985)
45412.206	134.5	-0.002	Полушкина (1985)
47462.2685	743.5	-0.131	Полушкина (1992)

(O-C) d

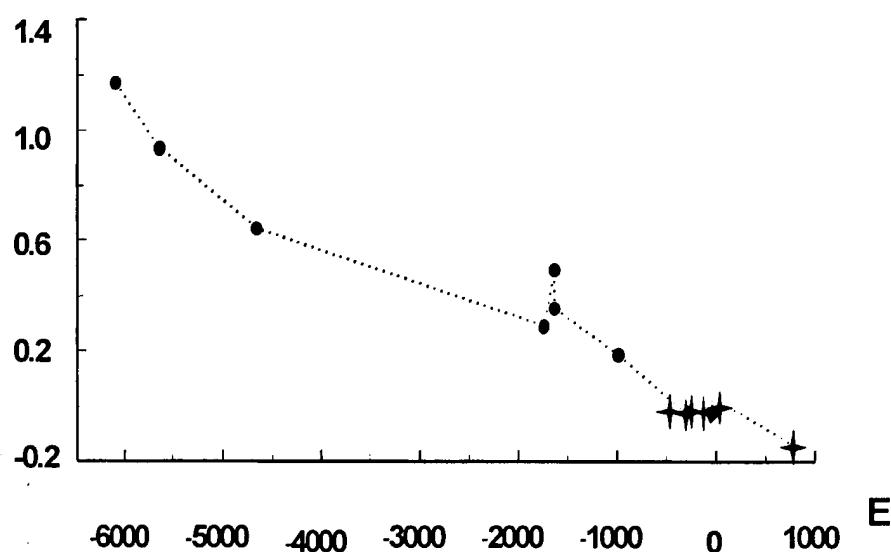


Рис.2.4.1. Изменение периода СС Cas. (Крестики отмечают наблюдения автора)

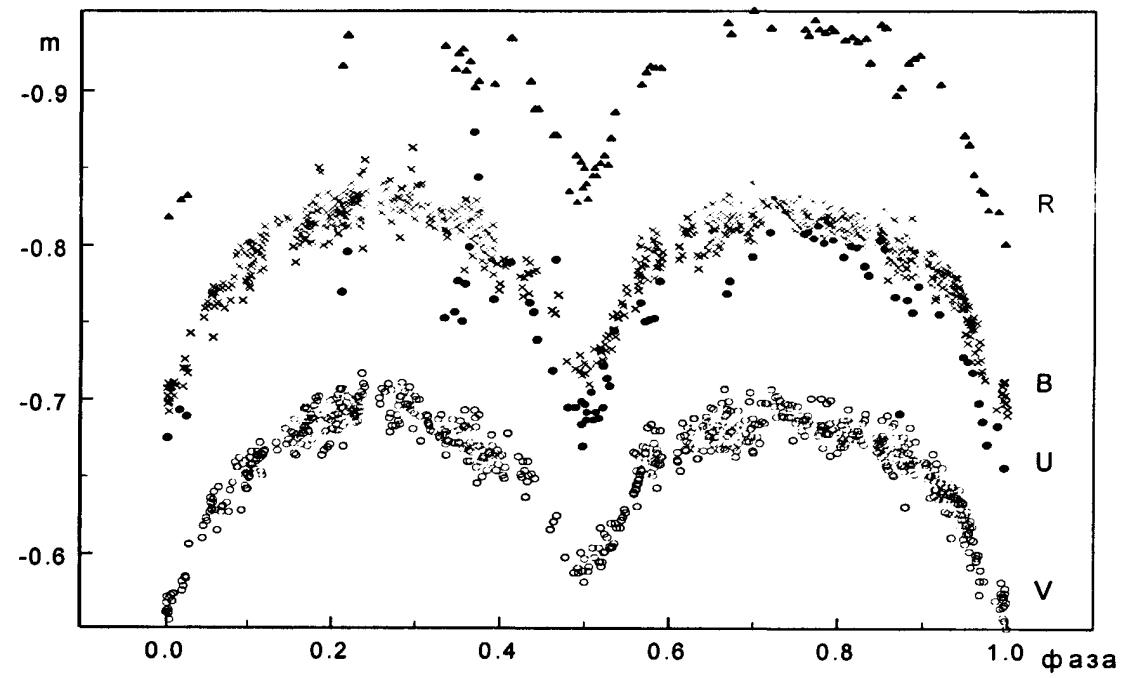


Рис. 2.4.2 Кривая изменения блеска СС Cas в 1980 - 1983гг.

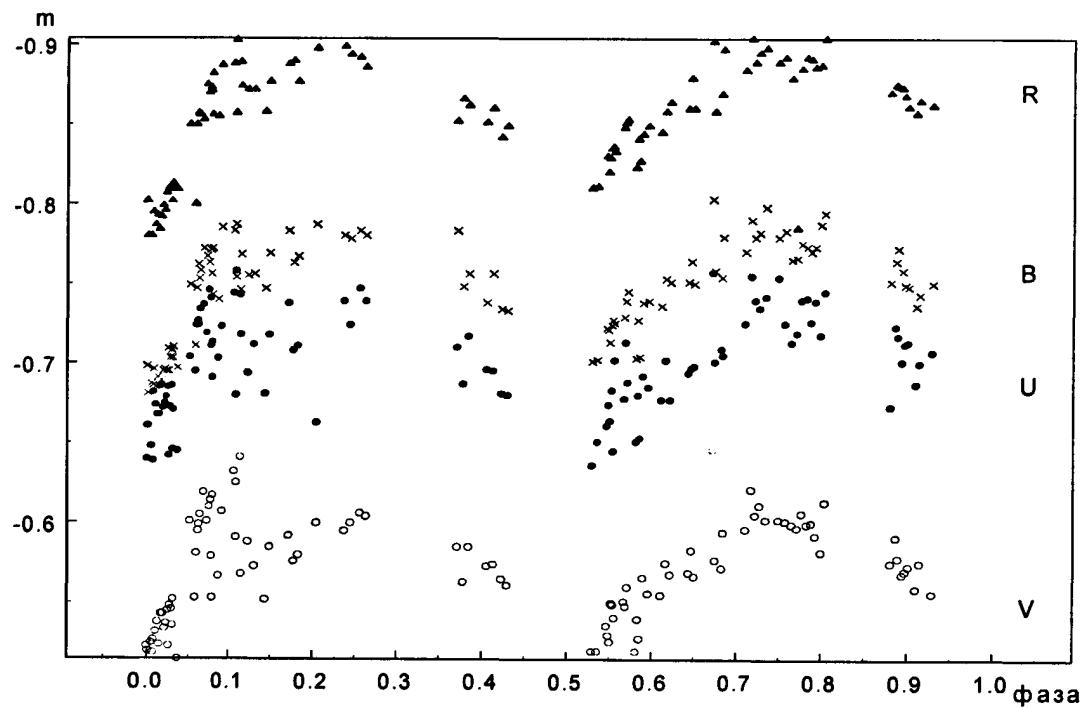


Рис. 2.4.3 Кривая изменения блеска СС Cas в 1988г.

**РОССИЙСКАЯ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ
БИБЛИОТЕКА**

Таблица 2.4.4 Нормальные точки кривой блеска СС Cas (1980-1983гг.)

ФАЗА	ΔV	ΔB	N	ФАЗА	ΔR	ΔU	N
0.0013	-0.700 ^m	-0.563 ^m	7	0.0011	-0.818 ^m	-0.675 ^m	1
0.0068	-0.708	-0.571	7	0.0155	-0.829	-0.693	1
0.0216	-0.720	-0.583	6	0.0238	-0.832	-0.689	1
0.0466	-0.760	-0.619	4	0.2150	-0.921	-0.783	2
0.0554	-0.768	-0.633	9	0.3345	-0.929	-0.753	1
0.0672	-0.772	-0.631	6	0.3484	-0.919	-0.767	2
0.0856	-0.782	-0.651	6	0.3572	0.920	-0.763	2
0.0974	-0.788	-0.651	8	0.3664	-0.910	-0.836	2
0.1018	-0.783	-0.651	10	0.3740	-0.906	-0.844	1
0.1060	-0.796	-0.658	8	0.3926	-0.904	-0.765	1
0.1149	-0.796	-0.663	8	0.4120	-0.934	-0.789	1
0.1199	-0.804	-0.665	6	0.4370	-0.897	-0.760	2
0.1471	-0.817	-0.672	5	0.4436	-0.888	-0.739	1
0.1563	-0.804	-0.677	9	0.4630	-0.871	-0.719	2
0.1667	-0.808	-0.679	8	0.4852	-0.846	-0.695	2
0.1716	-0.813	-0.683	10	0.4970	-0.837	-0.690	5
0.1776	-0.815	-0.688	9	0.5033	-0.840	-0.694	4
0.1872	-0.822	-0.690	9	0.5139	-0.850	-0.688	3
0.1986	-0.817	-0.686	10	0.5227	-0.855	-0.714	3
0.2061	-0.823	-0.690	11	0.5328	-0.877	-0.727	2
0.2121	-0.819	-0.695	12	0.5662	-0.904	-0.763	1
0.2182	-0.822	-0.696	9	0.5740	-0.914	-0.752	2
0.2277	-0.829	-0.692	12	0.5855	-0.915	-0.765	2
0.2343	-0.830	-0.702	11	0.6701	-0.941	-0.773	2
0.2592	-0.831	-0.703	4	0.6989	-0.952	-0.793	1
0.2710	-0.830	-0.688	7	0.7195	-0.941	-0.809	1
0.2817	-0.827	-0.698	8	0.7618	-0.938	-0.809	2
0.2921	-0.833	-0.697	8	0.7737	-0.943	-0.809	2
0.3013	-0.838	-0.691	7	0.7900	-0.939	-0.803	3
0.3165	-0.817	-0.684	7	0.8065	-0.933	-0.793	1
0.3328	-0.816	-0.678	10	0.8182	-0.934	-0.800	2
0.3426	-0.820	-0.673	6	0.8337	-0.926	-0.784	2
0.3532	-0.813	-0.672	7	0.8521	-0.942	-0.942	2
0.3631	-0.816	-0.670	9	0.8673	-0.897	-0.767	1
0.3740	-0.811	-0.670	9	0.8735	-0.902	-0.691	1
0.3816	-0.796	-0.663	8	0.8846	-0.919	-0.761	2
0.3937	-0.788	-0.665	8	0.8948	-0.923	-0.774	1

ΦАЗА	ΔV	ΔB	N	ΦАЗА	ΔR	ΔU	N
0.4050	-0.790	-0.659	6	0.9189	-0.904	-0.756	1
0.4269	-0.780	-0.653	6	0.9474	-0.871	-0.728	1
0.4340	-0.783	-0.651	5	0.9557	-0.855	-0.722	2
0.4642	-0.758	-0.621	3	0.9660	-0.836	-0.698	1
0.4833	-0.722	-0.593	2	0.9732	-0.829	-0.679	2
0.4981	-0.721	-0.590	6	0.9881	-0.822	-0.683	1
0.5088	-0.722	-0.595	4	0.9962	-0.801	-0.656	1
0.5212	-0.732	-0.601	9				
0.5338	-0.746	-0.609	8				
0.5544	-0.766	-0.634	10				
0.5645	-0.781	-0.648	11				
0.5723	-0.788	-0.662	10				
0.5832	-0.798	-0.661	12				
0.5896	-0.792	-0.792	10				
0.6144	-0.807	-0.667	9				
0.6282	-0.812	-0.681	8				
0.6420	-0.799	-0.681	7				
0.6503	-0.810	-0.677	11				
0.6608	-0.809	-0.682	10				
0.6700	-0.813	-0.682	11				
0.6814	-0.813	-0.677	9				
0.6959	-0.814	-0.679	10				
0.7041	-0.815	-0.680	8				
0.7160	-0.827	-0.697	6				
0.7331	-0.826	-0.826	9				
0.7459	-0.821	-0.692	8				
0.7615	-0.817	-0.687	10				
0.7781	-0.818	-0.684	6				
0.7858	-0.817	-0.680	10				
0.7934	-0.814	-0.814	9				
0.8051	-0.819	-0.675	10				
0.8129	-0.811	-0.678	9				
0.8245	-0.810	-0.679	8				
0.8463	-0.808	-0.672	11				
0.8530	-0.804	-0.673	10				
0.8593	-0.795	-0.665	10				
0.8694	-0.796	-0.665	11				
0.8785	-0.790	-0.658	9				

ФАЗА	ΔV	ΔB	N	ФАЗА	ΔR	ΔU	N
0.8856	-0.796	-0.663	10				
0.9040	-0.788	-0.658	11				
0.9139	-0.780	-0.780	8				
0.9194	-0.781	-0.643	9				
0.9262	-0.780	-0.640	12				
0.9342	-0.774	-0.638	9				
0.9405	-0.772	-0.637	12				
0.9465	-0.762	-0.762	9				
0.9515	-0.752	-0.619	10				
0.9567	-0.747	-0.610	9				
0.9668	-0.726	-0.593	8				
0.9935	-0.704	-0.571	8				
0.9975	-0.698	-0.569	7				

Таблица 2.4.5

Изменение блеска СС Cas в 1988г.

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	ФАЗА	ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	ФАЗА
m -0.850	m -0.749	m -0.601	m -0.704	p 0.0518	m -0.894	m -0.778	m -0.600	m -0.724	p 0.2449
-0.853	-0.772	-0.619	-0.737	0.0686	-0.892	-0.783	-0.606	-0.747	0.2561
-0.882	-0.772	-0.617	-0.713	0.0800	-0.886	-0.780	-0.604	-0.739	0.2634
-0.887	-0.785	-0.607	-0.723	0.0918	-0.810	-0.701	-0.520	-0.636	0.5300
-0.888	-0.783	-0.632	-0.744	0.1069	-0.811	-0.702	-0.520	-0.651	0.5362
-0.903	-0.787	-0.625	-0.758	0.1094	-0.830	-0.722	-0.536	-0.661	0.5473
-0.889	-0.746	-0.641	-0.743	0.1147	-0.820	-0.721	-0.530	-0.674	0.5492
-0.852	-0.783	-0.585	-0.710	0.3711	-0.829	-0.713	-0.526	-0.664	0.5508
-0.866	-0.748	-0.563	-0.687	0.3782	-0.835	-0.724	-0.550	-0.683	0.5531
-0.862	-0.756	-0.585	-0.717	0.3848	-0.836	-0.727	-0.549	-0.645	0.5547
-0.851	-0.738	-0.573	-0.696	0.4057	-0.833	-0.725	-0.541	-0.702	0.5565
-0.860	-0.756	-0.574	-0.695	0.4131	-0.848	-0.729	-0.551	-0.678	0.5677
-0.842	-0.734	-0.565	-0.681	0.4228	-0.851	-0.739	-0.548	-0.713	0.5695
-0.849	-0.733	-0.561	-0.680	0.4297	-0.853	-0.745	-0.560	-0.688	0.5717
-0.879	-0.764	-0.583	-0.697	0.6470	-0.823	-0.703	-0.520	-0.651	0.5815
-0.902	-0.803	-0.646	-0.757	0.6721	-0.841	-0.727	-0.540	-0.680	0.5840
-0.884	-0.770	-0.596	-0.725	0.7110	-0.827	-0.704	-0.528	-0.653	0.5859
-0.904	-0.790	-0.621	-0.755	0.7176	-0.874	-0.772	-0.578	-0.717	0.8896
-0.889	-0.779	-0.605	-0.740	0.7223	-0.873	-0.758	-0.568	-0.701	0.8943
-0.895	-0.782	-0.611	-0.735	0.7273	-0.861	-0.748	-0.573	-0.713	0.9013
-0.899	-0.780	-0.595	-0.739	0.2376	-0.857	-0.754	-0.591	-0.680	0.1094

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	ΦАЗА
-0.874	-0.768	-0.568	-0.718	0.1158
-0.872	-0.755	-0.588	-0.694	0.1239
-0.872	-0.756	-0.573	-0.712	0.1314
-0.858	-0.747	-0.552	-0.681	0.1443
-0.877	-0.769	-0.585	-0.718	0.1495
-0.888	-0.783	-0.592	-0.738	0.1717
-0.890	-0.763	-0.576	-0.708	0.1778
-0.877	-0.767	-0.580	-0.711	0.1829
-0.898	-0.787	-0.600	-0.663	0.2047
-0.802	-0.698	-0.523	-0.640	0.0001
-0.795	-0.686	-0.519	-0.639	0.0070
-0.810	-0.695	-0.523	-0.642	0.0258
-0.813	-0.703	-0.536	-0.646	0.0308
-0.809	-0.697	-0.515	-0.645	0.0365
-0.800	-0.711	-0.553	-0.695	0.0584
-0.871	-0.756	-0.579	-0.711	0.0784
-0.856	-0.743	-0.553	-0.691	0.0799
-0.855	-0.740	-0.567	-0.703	0.0873
-0.844	-0.738	-0.566	-0.692	0.5897
-0.849	-0.739	-0.556	-0.685	0.5963
-0.845	-0.736	-0.555	-0.677	0.6112
-0.858	-0.753	-0.575	-0.702	0.6166
-0.864	-0.751	-0.568	-0.677	0.6217
-0.860	-0.751	-0.569	-0.694	0.6435
-0.860	-0.750	-0.567	-0.698	0.6502
-0.858	-0.758	-0.577	-0.701	0.6747
-0.869	-0.754	-0.572	-0.709	0.6827
-0.897	-0.779	-0.594	-0.705	0.6844
-0.875	-0.764	-0.591	-0.723	0.8872
-0.857	-0.736	-0.559	-0.687	0.9106
-0.865	-0.743	-0.575	-0.700	0.9148
-0.892	-0.773	-0.599	-0.741	0.7831
-0.891	-0.770	-0.600	-0.726	0.7883
-0.886	-0.773	-0.592	-0.739	0.7930
-0.887	-0.787	-0.582	-0.718	0.7997
-0.904	-0.794	-0.613	-0.745	0.8042
-0.898	-0.798	-0.602	-0.742	0.7348
-0.889	-0.779	-0.602	-0.754	0.7496
-0.892	-0.783	-0.601	-0.725	0.7577

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	ΦАЗА
-0.879	-0.765	-0.599	-0.713	0.7653
-0.785	-0.766	-0.597	-0.719	0.7715
-0.885	-0.775	-0.606	-0.740	0.7770
-0.780	-0.681	-0.520	-0.661	0.0009
-0.780	-0.687	-0.525	-0.648	0.0049
-0.795	-0.696	-0.527	-0.682	0.0075
-0.787	-0.685	-0.532	-0.674	0.0100
-0.793	-0.691	-0.538	-0.668	0.0124
-0.784	-0.685	-0.524	-0.668	0.0145
-0.792	-0.689	-0.543	-0.686	0.0168
-0.799	-0.695	-0.543	-0.672	0.0189
-0.796	-0.696	-0.534	-0.675	0.0211
-0.807	-0.695	-0.537	-0.679	0.0230
-0.809	-0.709	-0.545	-0.685	0.0251
-0.811	-0.703	-0.548	-0.673	0.0273
-0.802	-0.708	-0.546	-0.686	0.0295
-0.812	-0.710	-0.552	-0.671	0.0314
-0.850	-0.747	-0.581	-0.724	0.0596
-0.857	-0.762	-0.595	-0.727	0.0620
-0.856	-0.753	-0.599	-0.724	0.0625
-0.856	-0.758	-0.605	-0.734	0.0642
-0.875	-0.767	-0.601	-0.719	0.0727
-0.870	-0.763	-0.610	-0.746	0.0755
-0.873	-0.771	-0.614	-0.741	0.0776

2.4.2 Наблюдения V368 Кассиопеи

Как уже отмечалось выше, контрольной звездой при наблюдениях СС Cas (BD+59°0607) являлась затменная переменная звезда V368 Cas с алголеподобной кривой блеска с периодом переменности $P=4.451^d$. Все данные о наблюдениях и обработке этой звезды уже приведены при описании СС Cas. Для данной звезды за период 1980-1983г. получено по 520 измерений блеска в каждом из фильтров B и V каждом и по 80 - с фильтрами U и R. Результаты наблюдений иллюстрированы на рис. 2.4.4, а в таблице 2.4.7 приведена нормальные точки, включающие наблюдательные данные за период 1980-1982гг. Точность измерений, определенная по разности значений блеска этой звезды вне затмений и блеска звезды сравнения, составила $\sigma_U=\pm 0.016^m$, $\sigma_B=\pm 0.008^m$, $\sigma_V=\pm 0.008^m$, $\sigma_R=\pm 0.009^m$. В октябре 1988г. во время наблюдений на Майданаке для этой звезды получено по 100 измерений блеска в каждом из UBVR фильтров. Результаты наблюдений иллюстрируются на рис. 2.4.5, а в таблице 2.4.8 приведена нормальная кривая блеска V368 Cas, соответствующая октябрю 1988г. Средняя квадратичная ошибка одного наблюдения равна $\sigma_R=\pm 0.008^m$, $\sigma_V=\pm 0.007^m$, $\sigma_B=\pm 0.006^m$, $\sigma_U=\pm 0.011^m$. Моменты минимумов, полученные во время наблюдений и приведенные в таблице 2.4.6, позволили уточнить значение периода и эфемеридную формулу для этой переменной:

$$JDH Imin = 2445435.3089 + 4.4516321^d * E.$$

Кривая блеска имеет ярко выраженную алголеподобную форму. Максимум светимости звезды приходится на фазы 0.4Р и 0.6Р. На изменения блеска вне затмений существенное влияние оказывает эффект фазы, который равен $\approx 0.11^m$, 0.100^m , 0.113^m , $\approx 0.14^m$ для U-, B-, V-, R- цветов соответственно. Глубины минимумов от уровня блеска вблизи фаз внешнего контакта соответственно равны: для 1 минимума 0.639^m , 0.650^m , 0.617^m , 0.546^m и для 2 минимума соответственно $\approx 0.08^m$, 0.110^m , 0.110^m , $\approx 0.16^m$.

Изменения максимального уровня блеска системы между двумя указанными выше сезонами не наблюдается. Изменений периода не обнаружено.

Таблица 2.4.6 Моменты минимумов V368 Cas

JDH IMIN 2445000+	ЦВЕТ	JDH IIMIN 2445000+	ЦВЕТ
386,3409	B, V	326.2437	B,V
386,3407	U,R		
435,3089	U,B,V,R		

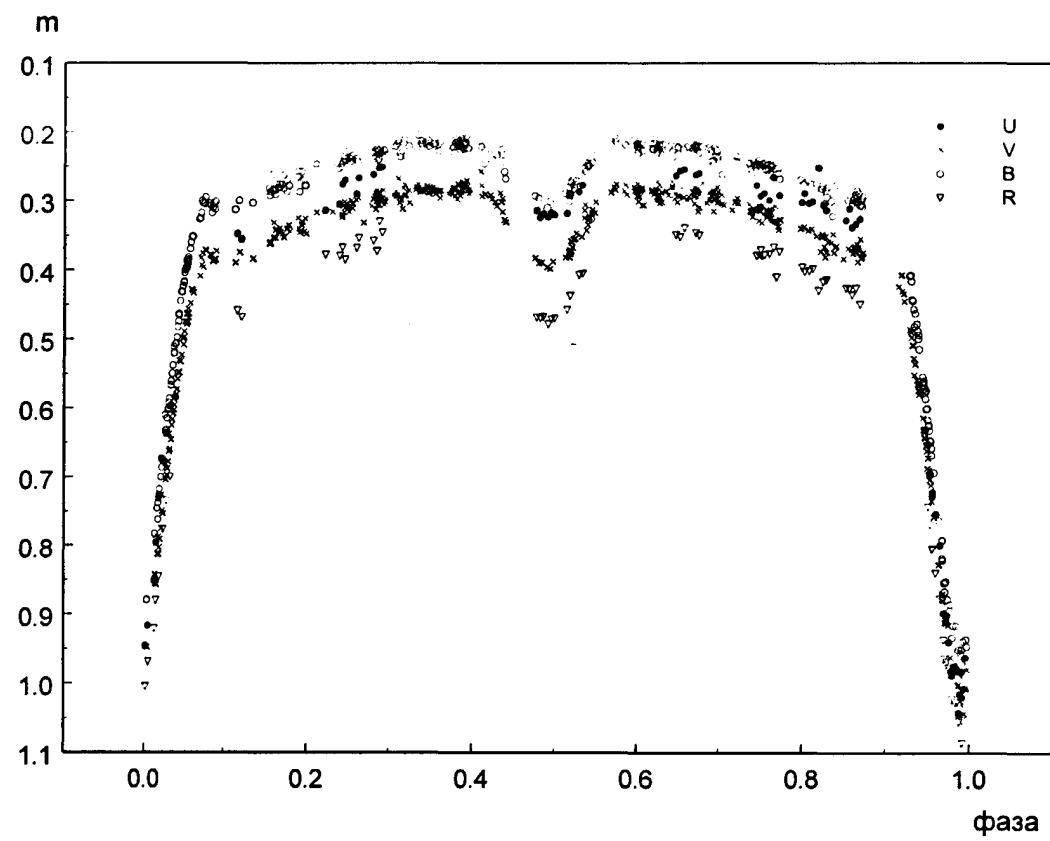


Рис. 2.4.4 Кривая изменения блеска V368 Cas (1980-1983гг.)

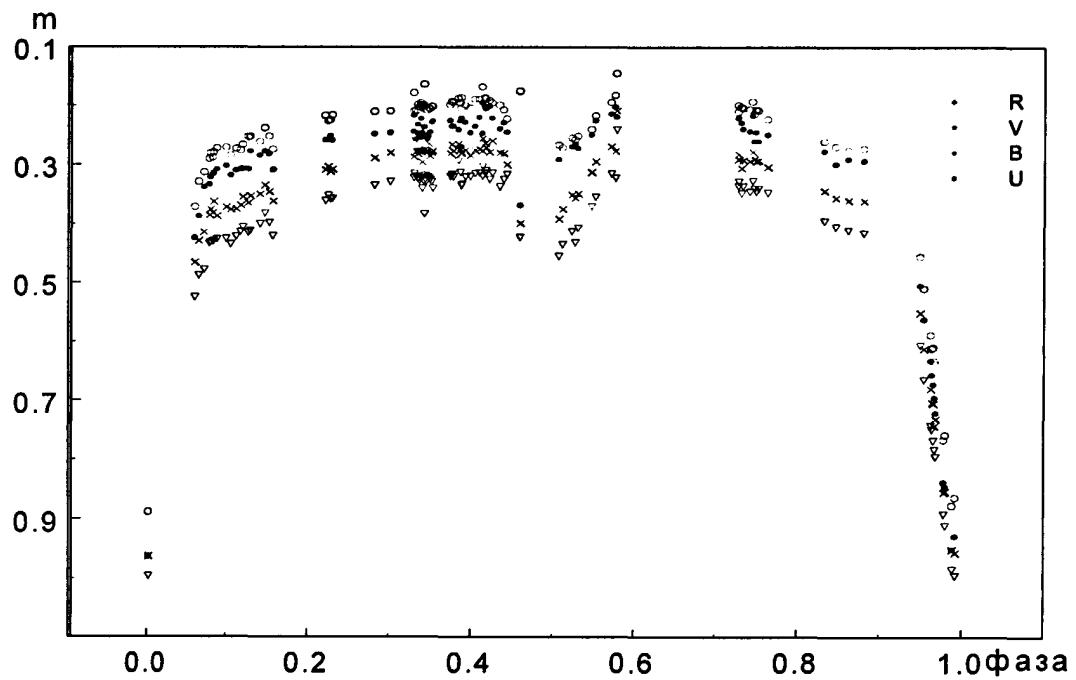


Рис. 2.4.5 Кривая изменения блеска V368 Cas (1988г.)

Таблица.2.4.7 Нормальные точки кривой блеска V368 Cas (1980-1983гг)

фаза	ΔV	ΔB	n	фаза	ΔR	ΔU	фаза	ΔV	ΔB	n	фаза	ΔR	ΔU
p	m	m		p	m	m	p	m	m		p	m	m
0.0032	0.999	0.950	6	0.002	1.004	0.945	0.2968	0.299	0.235	6	0.6514	0.351	0.256
0.0132	0.947	0.878	1	0.0054	0.968	0.917	0.3020	0.297	0.228	7	0.6570	0.339	0.254
0.0259	0.828	0.767	6	0.0137	0.921	0.850	0.3175	0.287	0.219	6	0.6730	0.347	0.261
0.0313	0.773	0.701	7	0.0158	0.880	0.796	0.3226	0.298	0.233	3	0.7470	0.375	0.284
0.0387	0.689	0.618	5	0.0199	0.845	0.727	0.3281	0.290	0.216	6	0.7540	0.378	0.288
0.0419	0.653	0.592	3	0.0247	0.776	0.676	0.3436	0.285	0.216	10	0.7624	0.372	0.281
0.0457	0.624	0.553	4	0.0292	0.734	0.637	0.3558	0.284	0.217	6	0.7683	0.409	0.330
0.0487	0.592	0.514	4	0.0342	0.699	0.596	0.3666	0.286	0.217	9	0.7719	0.373	0.291
0.5172	0.570	0.494	3	0.1160	0.459	0.347	0.3839	0.285	0.219	5	0.7992	0.396	0.301
0.0546	0.541	0.462	5	0.1211	0.468	0.355	0.3891	0.285	0.218	8	0.8050	0.401	0.295
0.0592	0.503	0.424	5	0.2225	0.378	0.314	0.3939	0.281	0.216	8	0.8118	0.398	0.300
0.0629	0.471	0.396	6	0.2394	0.38	0.304	0.3985	0.279	0.218	7	0.8186	0.428	0.252
0.0656	0.465	0.387	4	0.2447	0.376	0.273	0.4030	0.279	0.216	9	0.8260	0.415	0.309
0.0701	0.434	0.358	4	0.2620	0.361	0.278	0.4199	0.276	0.220	3	0.8536	0.425	0.320
0.0832	0.385	0.309	8	0.2828	0.365	0.271	0.4302	0.295	0.235	5	0.8590	0.436	0.338
0.0960	0.382	0.307	7	0.2863	0.350	0.271	0.4448	0.301	0.229	5	0.8661	0.437	0.330
0.1314	0.383	0.305	3	0.2913	0.345	0.251	0.4486	0.329	0.263	2	0.9477	0.711	0.631
0.1680	0.351	0.282	9	0.4777	0.468	0.314	0.4890	0.387	0.298	3	0.9510	0.742	0.652
0.1758	0.343	0.278	3	0.4819	0.468	0.324	0.5027	0.393	0.305	3	0.9536	0.769	0.694
0.1802	0.351	0.273	3	0.4858	0.467	0.319	0.5213	0.381	0.288	1	0.9565	0.805	0.723
0.1861	0.339	0.276	5	0.4917	0.477	0.323	0.5263	0.375	0.290	3	0.9606	0.839	0.754
0.2031	0.336	0.270	8	0.4953	0.470	0.317	0.5284	0.366	0.281	4	0.9656	0.877	0.799
0.2361	0.313	0.248	3	0.4990	0.469	0.320	0.5327	0.356	0.276	5	0.9704	0.949	0.898
0.2540	0.312	0.240	7	0.5144	0.457	0.318	0.5411	0.351	0.263	1	0.9725	0.969	0.907
0.2613	0.308	0.236	4	0.5181	0.437	0.289	0.5478	0.328	0.249	6	0.9767	0.976	0.939
0.2669	0.302	0.238	5	0.5291	0.406	0.286	0.5561	0.312	0.236	4	0.9788	0.995	0.981
0.2865	0.309	0.234	4	0.5333	0.405	0.277	0.5812	0.281	0.211	4	0.9809	1.026	0.981
0.2935	0.296	0.230	6	0.6467	0.348	0.263	0.5963	0.286	0.221	4	0.9831	1.026	0.980

фаза	ΔV	ΔB	n	фаза	ΔR	ΔU
0.6112	0.289	0.222	6	0.9882	1.054	1.042
0.6152	0.291	0.224	5	0.9897	1.036	1.014
0.6266	0.285	0.220	7	0.9918	1.052	1.020
0.6303	0.288	0.218	6	0.9922	1.086	0.981
0.6335	0.291	0.224	6	0.9948	1.032	1.006
0.6361	0.290	0.219	7	0.9960	1.014	0.961
0.6413	0.290	0.222	4			
0.6480	0.287	0.226	4			
0.6529	0.286	0.227	4			
0.6602	0.292	0.222	6			
0.6696	0.295	0.222	4			
0.6783	0.286	0.219	8			
0.6827	0.293	0.222	8			
0.6945	0.292	0.227	7			
0.7007	0.296	0.234	8			
0.7061	0.292	0.227	6			
0.7125	0.300	0.243	3			
0.7282	0.303	0.253	5			
0.7468	0.314	0.248	6			
0.7532	0.311	0.244	7			
0.7582	0.316	0.247	6			
0.7644	0.314	0.248	8			
0.7684	0.319	0.251	7			
0.7715	0.319	0.250	5			
0.7808	0.333	0.261	4			
0.8152	0.342	0.272	5			
0.8318	0.355	0.281	4			
0.8366	0.366	0.293	5			
0.9395	0.494	0.418	4			
0.9433	0.531	0.460	4			
0.9484	0.569	0.493	5			

Таблица 2.4.8 Нормальные точки кривой блеска V368 Cas (1988г.)

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	фаза	n
m 0.996	m 0.963	m 0.888	m 0.963	p 0.0023	1
0.525	0.466	0.371	0.424	0.0621	1
0.488	0.430	0.329	0.387	0.0670	1
0.478	0.415	0.313	0.338	0.0733	1
0.434	0.386	0.290	0.333	0.0799	1
0.431	0.374	0.282	0.317	0.0817	3
0.426	0.380	0.271	0.305	0.0948	2
0.435	0.376	0.284	0.318	0.1061	1
0.422	0.375	0.273	0.310	0.1130	1
0.410	0.360	0.260	0.307	0.1242	2
0.413	0.361	0.253	0.297	0.1287	2
0.491	0.342	0.250	0.280	0.1442	2
0.410	0.354	0.263	0.299	0.1550	2
0.356	0.307	0.220	0.258	0.2237	2
0.257	0.310	0.220	0.255	0.2930	2
0.335	0.289	0.210	0.248	0.2824	1
0.329	0.280	0.209	0.246	0.3016	1
0.322	0.278	0.208	0.244	0.3334	5
0.325	0.278	0.199	0.249	0.3392	4
0.328	0.277	0.201	0.236	0.3440	5
0.329	0.277	0.203	0.238	0.3512	4
0.320	0.277	0.194	0.235	0.3766	3
0.323	0.278	0.192	0.233	0.3876	4
0.320	0.276	0.200	0.235	0.3991	3
0.314	0.271	0.187	0.205	0.4143	5
0.320	0.270	0.193	0.211	0.4245	2
0.331	0.281	0.203	0.234	0.4375	2
0.317	0.300	0.222	0.245	0.4438	1

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	фаза	n
m 0.423	m 0.399	m 0.175	m 0.368	p 0.4603	1
0.455	0.392	0.266	0.291	0.5078	1
0.435	0.375	0.271	M	0.5124	1
0.422	0.353	0.255	0.267	0.5259	2
0.407	0.349	0.251	0.272	0.5315	1
0.370	0.313	0.240	0.249	0.5482	1
0.354	0.295	0.217	0.225	0.5533	1
0.315	0.269	0.194	0.214	0.5725	1
0.322	0.277	0.182	0.202	0.5777	1
0.241	0.209	0.145	0.219	0.5793	1
0.332	0.287	0.205	0.220	0.7289	2
0.347	0.299	0.203	0.235	0.7335	2
0.343	0.292	0.206	0.244	0.7474	4
0.340	0.293	0.208	0.260	0.7532	1
0.347	0.304	0.223	0.249	0.7645	1
0.395	0.344	0.260	0.277	0.8329	1
0.405	0.356	0.269	0.299	0.8468	1
0.411	0.360	0.276	0.290	0.8625	1
0.416	0.361	0.272	0.293	0.8814	1
0.606	0.551	0.455	0.504	0.9503	1
0.664	0.612	0.509	0.562	0.9546	1
0.749	0.703	0.609	0.656	0.9644	3
0.789	0.737	0.635	0.718	0.9679	2
0.891	0.855	0.766	0.837	0.9785	1
0.910	0.853	0.758	0.845	0.9803	1
0.984	0.951	0.876	0.950	0.9888	1
0.995	0.956	0.863	0.928	0.9922	1

2.4.3 Наблюдения SZ Жирафа

SZ Cam [HD 25638, $m_{max} = 6.99^m$ (V), $P = 2.698^d$, $Sp = O9IV+B0.5V$] - северный компонент визуально двойной $\Sigma 485 = ADS\ 2985(18'')$, является затменной переменной с компонентами ранних спектральных классов. Эта система - самый яркий объект в рассеянном звездном скоплении NGC 1502, проектируемый в его центральную область.

Фотометрия переменных звезд, входящих в состав кратных систем, обременена дополнительными трудностями. Из-за атмосферной турбулентности изображение звезды в фокальной плоскости телескопа оказывается размытым в большей или меньшей степени в зависимости от состояния атмосферы. Традиционные методы электрофотометрии, когда в диафрагму помещаются либо оба компонента визуально двойной звезды, либо один из компонентов, приводят к большим ошибкам в определении блеска компонентов. В случае достаточно тесных пар, когда диски дрожания звезд сравнимы с их угловым разрешением, невозможно исключить влияние подсвечивания одного компонента другим.

Проблема решается использованием панорамных приемников излучения или модуляционных методов, если используется одноканальный электрофотометр. Наибольшее распространение получил метод сканирования изображений щелью, как наиболее простой и дешевый в техническом исполнении и способах обработки полученного материала.

В 60-е годы разработан эффективный метод фотометрических наблюдений визуально двойных звезд, основанный на сканировании изображений по щелевой диафрагме фотометра (Rakosch K.D., 1965, Franz O.G., 1966). Суть метода заключается в получении "мгновенных" разрезов (сканов) изображения визуально двойной звезды и последующем их суммировании в один профиль, который служит исходным материалом для получения значений блеска компонентов (Franz O.G., 1970). Если визуальный компонент переменной звезды имеет постоянный блеск и может использоваться в качестве звезды сравнения, сканирующий фотометр работает как квазидвухканальный, т.к. разрезы изображений обеих звезд получаются практически одновременно.

В 1983 году в астрономической обсерватории Уральского госуниверситета для фотометрии визуально двойных звезд были созданы на базе электрофотометра АФМ-6 сканирующее устройство и комплекс программ редукций наблюдений и преобразования сканерных данных в звездные величины (Горда 1984, Горда 1988). Для наблюдений звезды SZ Жирафа в условиях Урала при среднем качестве изображений, имеющих размеры 4"- 8", был использован этот метод. В качестве звезды сравнения использовался визуальный компонент SZ Cam, постоянство блеска которого с большой точностью было установлено еще Kitamura W.,

Yamasaki A.I., (1972). Наблюдения были выполнены совместно с С.Ю. Гордой на телескопе АЗТ-3 в 1984-1985гг. Было получено по 180 измерений блеска с UBVR-фильтрами. Наблюдения выполнены на сканере с вращающейся призмой при ширине щели 16''. Отсчеты с интервалом в 10 миллисекунд записывались в память ЭВМ. На каждый скан приходилось по 2 секунды времени. Регистрация фотометрических данных производилась в режиме счета фотонов со временем интегрирования 0.01 сек. Получаемые данные непрерывно записывались в память ЭВМ и впоследствии обработаны по указанным выше программам (Горда 1984, Горда 1988). Редукции сканерных наблюдений проводились по стандартной методике обработки сканерных данных (Franz 1970). Форма профилей компонентов ADS 2984 определялась по контрольной звезде, в качестве которой использовалась одна из звезд фотометрического стандарта скопления NGC 1502. Редукции за атмосферное поглощение и цветовую систему инструмента выполнялись по описанной выше методике.

Результаты наблюдений приведены в работе Горды и Полушкиной (1987) и иллюстрируются на рис. 2.4.6, нормальная кривая блеска дана в таблице 2.4.9. Как видно из рисунка, кривая блеска равномерно заполнена данными наблюдений, а некоторые фазы перекрыты многократно. Средняя квадратичная ошибка наблюдений определялась по кривой блеска вне затмений и равна: $\sigma_U = \pm 0.017''$, $\sigma_B = \pm 0.012''$, $\sigma_V = \pm 0.017''$, $\sigma_R = \pm 0.016''$, и представляет собой верхний предел погрешностей наблюдений. Точность наблюдений оказалась несколько ниже ожидаемой, но это объясняется тем, что не были обеспечены оптимальные условия сканерных наблюдений двойной звезды в силу имевших тогда место объективных условий, связанных с конструктивными особенностями используемого электрофотометра. Особенности поведения кривой блеска в сезон наблюдений следующие.

- 1) Результаты, полученные для фаз ~0.84-0.91P 20-21 декабря 1984г. лежат систематически выше среднего уровня блеска на этой фазе, полученного в другие ночи. Это увеличение блеска достигает значений $0.040''$, $0.035''$, $0.030''$, $0.030''$ в RVBU цветах соответственно.
- 2) Наблюдается явно выраженная асимметрия вторичного минимума, восходящая ветвь которого на фазах больших 0.56P испытывает ослабление блеска. Величина ослабления наиболее значительна в B и R цветах и достигает значений $0.060''$ и $0.050''$ в то время как в U и V цветах она заметно меньше - $0.030''$ и $0.015''$. Искажения вторичного минимума регистрировались и раньше рядом авторов (Полушина 1977, Chochol 1980).
- 2) Кривая блеска в V и R цветах имеет разновысокие максимумы, разница равна - $0.015''$ и $0.010''$ соответственно.
- 4) Глубины минимумов хорошо согласуются с результатами других авторов.

За сезон наблюдений получено по одному минимуму в фазах 0.0Р и 0.5Р, которые использовались для уточнения периода: $I_{min}=JDH\ 2446150.2684$, $II\ min=JDH\ 2446127.3300$.

Повторно кривая блеска SZ Cam была получена автором в октябре 1988г. на телескопе АЗТ-14 Ташкентской обсерватории на горе Майданак. В условиях Майданака средний диск дрожания примерно равен 1". Поэтому эта звезда там наблюдалась традиционным дифференциальным методом. За 12 ночей получено по 104 измерения блеска в UBVR цветах каждом. Звезды сравнения и контрольная остались прежние. Наблюдения и обработка выполнены по описанной автором методике и приведены в таблице 2.4.10 в виде разности блеска переменной и звезды сравнения в UBVR цветах и соответствующих им фаз периода и веса нормальной точки и иллюстрируются на рис.2.4.7. Средняя квадратичная ошибка одного измерения равна $\pm 0.008^m$, $\pm 0.007^m$, $\pm 0.006^m$, $\pm 0.011^m$ в RVBU цветах соответственно. Из-за ограниченности времени на кривой отсутствуют наблюдения, соответствующие fazam 0.92-0.19Р. Кривая блеска в 1988г. значительно спокойнее, чем в 1984-1985гг. Наиболее глубокие депрессии имеют место в цвете R, достигая 0.025^m на нормальной кривой. 17-20 октября в фазе 0.565-0.695Р наблюдалось увеличение блеска в U-цвете на 0.047^m , в B- на 0.060^m , в V- на 0.60^m , в R- на 0.055^m . Максимум вспышки приходится на fazu 0.570Р. Наблюдаемый второй минимум в этом сезоне оказался мельче в R-цвете на 0.031^m , в V- на 0.029^m , в B- на 0.050^m , в U глубина не изменилась. Одновременно произошло скачкообразное изменение периода: $\Delta P/P=0.724*10^{-4}$ (рис. 3.2.6).

Второй минимум симметричен и соответствует $JDH2447452.2670$. Значение максимального блеска в BVR осталось прежним, но в U-цвете он возрос на 0.080^m .

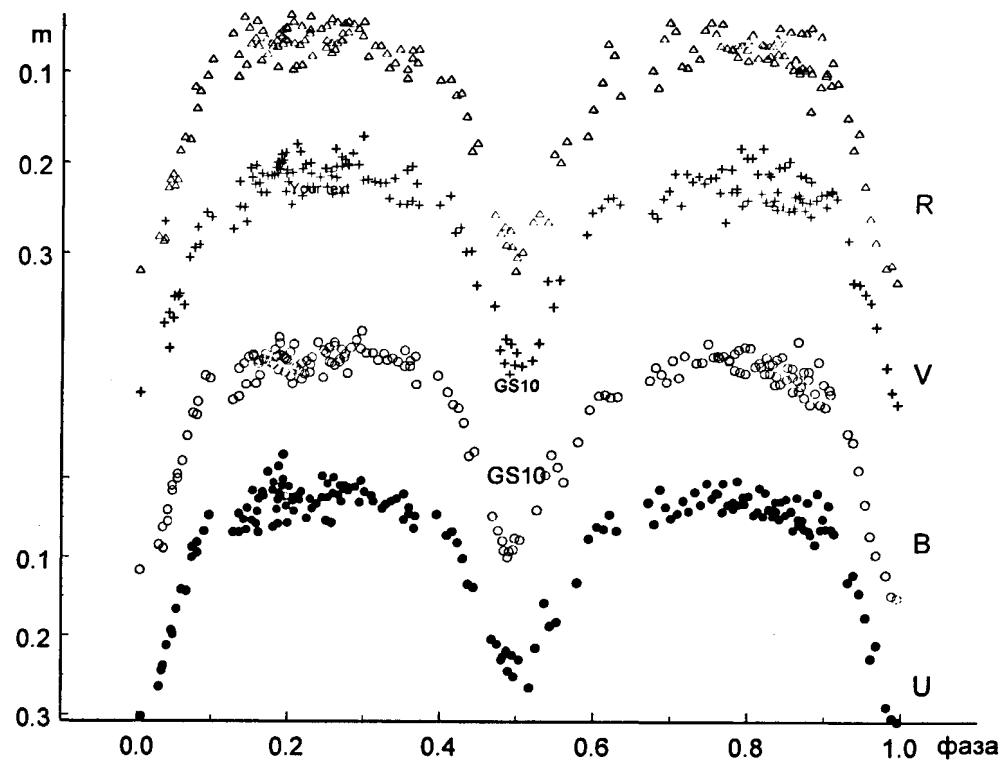


Рис.2.4.6 Кривая изменения блеска SZ Cam (1984-1985гг.)

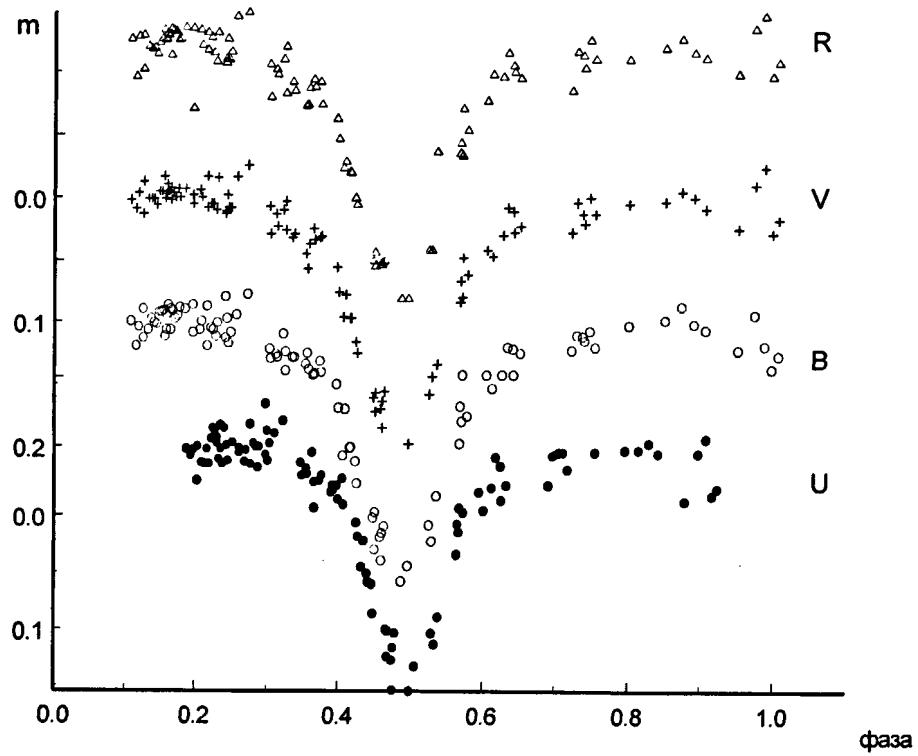


Рис. 2.4.7 Кривая изменения блеска SZ Cam в октябре 1988г.

Таблица 2.4.9 Нормальные точки кривой блеска SZ Жирафа (1984-1985гг.)

FU	ΔU	N	FB	ΔB	N	FV	ΔV	N	FR	ΔR	N
p	m		p	m		p	m		m	m	
0.0049	0.030	1	0.0040	0.213	1	0.0310	0.217	1	0.0022	0.319	1
0.0218	0.254	2	0.0331	0.179	2	0.0351	0.157	2	0.0307	0.284	2
0.0385	0.225	2	0.0419	0.150	2	0.0420	0.144	2	0.0385	0.256	2
0.0484	0.195	2	0.0484	0.119	2	0.0484	0.117	2	0.0484	0.219	4
0.0546	0.166	1	0.0575	0.099	3	0.0552	0.102	2	0.0568	0.187	1
0.0612	0.141	1	0.0690	0.059	1	0.0663	0.087	2	0.0671	0.174	3
0.0729	0.110	2	0.0800	0.029	3	0.0767	0.049	1	0.0787	0.129	2
0.0820	0.087	2	0.0953	-0.008	2	0.0808	0.025	1	0.0842	0.122	1
0.0945	0.057	2	0.1335	0.004	3	0.0991	0.026	2	0.0935	0.105	1
0.1342	0.060	3	0.1455	-0.018	3	0.1135	0.020	2	0.1004	0.087	1
0.1458	0.051	3	0.1591	-0.021	6	0.1373	-0.008	2	0.1314	0.082	3
0.1545	0.034	2	0.1713	-0.020	2	0.1516	-0.026	5	0.1424	0.066	2
0.1611	0.048	4	0.1858	-0.025	7	0.1654	-0.026	5	0.1490	0.061	2
0.1684	0.019	2	0.1955	-0.026	4	0.1778	-0.036	2	0.1592	0.067	4
0.1745	-0.008	1	0.2020	-0.024	2	0.1847	-0.045	5	0.1689	0.066	3
0.1813	0.027	3	0.2083	-0.022	2	0.1942	-0.043	8	0.1777	0.070	2
0.1877	0.025	5	0.2194	-0.017	5	0.2055	-0.032	4	0.1845	0.071	5
0.1940	-0.006	3	0.2299	-0.022	3	0.2161	-0.029	3	0.1942	0.059	8
0.1974	0.029	2	0.2446	-0.021	3	0.2264	-0.036	5	0.2055	0.074	4
0.2023	0.030	3	0.2541	-0.032	4	0.2439	-0.039	2	0.2166	0.070	4
0.2078	0.034	2	0.2663	-0.025	6	0.2529	-0.031	5	0.2269	0.058	4
0.2115	0.023	1	0.2822	-0.025	4	0.2647	-0.042	5	0.2469	0.060	4
0.2170	0.022	2	0.3021	-0.043	4	0.2745	-0.049	4	0.2575	0.062	2
0.2254	0.050	1	0.3231	-0.031	2	0.2877	-0.054	2	0.2680	0.064	4
0.2311	0.032	2	0.3343	-0.029	2	0.2976	-0.055	2	0.2785	0.049	4
0.2388	0.032	1	0.3507	-0.028	3	0.3037	-0.031	1	0.2962	0.053	2
0.2463	0.010	2	0.3646	-0.020	4	0.3126	-0.028	1	0.3129	0.076	3
0.2527	0.028	3	0.4036	0.000	2	0.3200	-0.027	1	0.3366	0.086	4
0.2589	0.042	2	0.4206	0.025	2	0.3269	-0.027	1	0.3587	0.092	4
0.2609	0.012	2	0.4314	0.044	1	0.3351	-0.029	2	0.3699	0.083	2
0.2698	0.019	2	0.4419	0.079	2	0.3454	-0.022	1	0.4052	0.109	2
0.2754	0.011	2	0.4692	0.151	1	0.3580	-0.024	4	0.4222	0.125	2
0.2813	0.014	2	0.4766	0.167	1	0.3690	-0.013	2	0.4330	0.150	1
0.2898	0.011	1	0.4833	0.184	2	0.3978	-0.001	1	0.4436	0.183	2
0.2998	0.010	2	0.4902	0.194	2	0.4144	0.009	2	0.4709	0.258	1
0.3124	0.025	2	0.4972	0.182	2	0.4286	0.039	2	0.4811	0.274	2
0.3278	0.035	2	0.5053	0.178	1	0.4428	0.072	2	0.4897	0.286	3

FU	ΔU	N	FB	ΔB	N	FV	ΔV	N	FR	ΔR	N
0.3369	0.029	1	0.5272	0.144	1	0.4738	0.141	2	0.4989	0.312	2
0.3438	0.026	1	0.5382	0.104	1	0.4840	0.168	3	0.5070	0.299	1
0.3554	0.039	3	0.5459	0.081	1	0.4910	0.177	2	0.5245	0.261	2
0.3676	0.055	2	0.5541	0.095	1	0.4980	0.177	2	0.5398	0.266	1
0.4028	0.059	2	0.5618	0.112	1	0.5062	0.186	1	0.5518	0.195	2
0.4197	0.074	2	0.5807	0.066	1	0.5195	0.179	1	0.5633	0.177	1
0.4305	0.101	1	0.5958	0.029	1	0.5225	0.122	2	0.5904	0.171	1
0.4411	0.136	2	0.6115	0.012	2	0.5467	0.117	1	0.5975	0.142	1
0.4721	0.207	2	0.6225	0.015	1	0.5548	0.086	1	0.6095	0.112	1
0.4844	0.224	3	0.6317	0.014	1	0.5897	0.022	1	0.6171	0.070	1
0.4942	0.239	3	0.6764	-0.012	2	0.6036	0.005	2	0.6246	0.082	1
0.5046	0.230	1	0.6947	-0.014	3	0.6199	-0.009	2	0.6329	0.127	1
0.5219	0.240	2	0.7139	-0.020	2	0.6845	0.002	2	0.6781	0.108	2
0.5374	0.158	1	0.7369	-0.025	2	0.6992	-0.028	2	0.6890	0.064	1
0.5491	0.184	2	0.7570	-0.035	4	0.7149	-0.019	2	0.7001	0.050	2
0.5798	0.132	1	0.7726	-0.021	2	0.7300	-0.022	2	0.7157	0.095	2
0.5949	0.076	1	0.7862	-0.027	4	0.7454	-0.030	2	0.7208	0.080	2
0.6051	0.061	1	0.7990	-0.032	3	0.7628	-0.018	4	0.7461	0.050	2
0.6181	0.055	2	0.8142	-0.022	2	0.7817	-0.027	3	0.7613	0.059	3
0.6513	0.048	2	0.8250	-0.022	3	0.7903	-0.034	2	0.7756	0.075	3
0.6829	0.035	2	0.8246	-0.015	5	0.7997	-0.039	3	0.7866	0.075	3
0.7014	0.042	3	0.8420	-0.001	1	0.8151	-0.040	3	0.7998	0.072	4
0.7204	0.034	2	0.8508	-0.006	1	0.8220	-0.005	1	0.8158	0.075	3
0.7400	0.018	3	0.8583	-0.019	1	0.8268	-0.036	2	0.8270	0.078	4
0.7572	0.021	2	0.8621	0.001	2	0.8332	-0.008	2	0.8355	0.078	3
0.7687	0.025	4	0.8683	0.004	2	0.8430	-0.030	3	0.8452	0.082	1
0.7873	0.025	5	0.8765	0.004	2	0.8517	-0.006	1	0.8524	0.093	1
0.8026	0.022	2	0.8848	0.016	2	0.8596	0.003	2	0.8586	0.092	2
0.8206	0.026	3	0.8945	0.023	1	0.8655	-0.011	2	0.8649	0.100	2
0.8285	0.038	2	0.9014	0.026	1	0.8736	-0.009	4	0.8704	0.097	2
0.8345	0.042	2	0.9081	0.011	1	0.8995	-0.010	2	0.8789	0.105	2
0.8379	0.025	2	0.9336	0.061	2	0.9039	-0.008	2	0.8873	0.109	2
0.8422	0.051	1	0.9448	0.098	1	0.9327	0.064	2	0.8996	0.105	1
0.8471	0.027	2	0.9530	0.137	1	0.9441	0.091	1	0.9065	0.115	1
0.8574	0.040	1	0.9598	0.173	1	0.9556	0.107	2	0.9282	0.151	1
0.8598	0.065	1	0.9673	0.195	1	0.9663	0.140	1	0.9389	0.177	2
0.8684	0.056	3	0.9808	0.218	1	0.9800	0.187	1	0.9511	0.226	1
0.8746	0.064	1	0.9881	0.242	1	0.9874	0.216	1	0.9582	0.262	1
0.8838	0.072	2	0.9955	0.245	1	0.9948	0.230	1	0.9658	0.288	1

FU	ΔU	N	FB	ΔB	N	FV	ΔV	N	FR	ΔR	N
0.8952	0.065	1							0.9791	0.316	1
0.9022	0.064	1							0.9900	0.322	2
0.9082	0.064	1									
0.9245	0.126	2									
0.9457	0.145	1									
0.9539	0.176	1									
0.9644	0.219	2									
0.9890	0.300	2									

Таблица 2.4.10 Изменения блеска SZ Жирафа (1988г.)

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	F
m 0.024	m 0.002	m -0.041	m -0.059	p 0.1888
0.054	0.009	-0.023	-0.053	0.1951
0.022	-0.004	-0.037	-0.058	0.1982
0.048	0.013	-0.029	-0.031	0.2039
0.021	-0.013	-0.050	-0.061	0.2041
0.030	0.001	-0.035	-0.047	0.2102
0.032	0.001	-0.043	-0.046	0.2141
0.031	0.001	-0.040	-0.059	0.2170
0.036	0.006	-0.039	-0.046	0.2203
0.027	-0.005	-0.048	-0.068	0.2230
0.024	-0.005	-0.048	-0.077	0.2259
0.017	-0.017	-0.049	-0.075	0.2284
0.025	0.001	-0.030	-0.068	0.2296
0.024	-0.003	-0.035	-0.064	0.2311
0.020	-0.011	-0.046	-0.069	0.2316
0.021	-0.005	-0.053	-0.050	0.2337
0.016	-0.008	-0.050	-0.080	0.2360
0.037	0.002	-0.035	-0.059	0.2362
0.017	-0.004	-0.049	-0.046	0.2387
0.018	0.000	-0.043	-0.077	0.2416
0.025	-0.007	-0.045	-0.062	0.2444
0.024	0.000	-0.051	-0.049	0.2467
0.015	-0.007	-0.050	-0.065	0.2528
0.016	-0.002	-0.053	-0.060	0.2615
0.079	0.005	-0.033	-0.056	0.2617
0.017	-0.006	-0.035	-0.048	0.2695
0.029	0.000	-0.041	-0.058	0.2714

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	F
m 0.019	m -0.017	m -0.052	m -0.081	p 0.2775
0.033	0.008	-0.023	-0.046	0.2777
0.023	0.005	-0.036	-0.064	0.2820
0.035	0.005	-0.035	-0.061	0.2847
0.042	0.010	-0.030	-0.043	0.2878
0.019	-0.016	-0.040	-0.061	0.2895
0.043	0.013	-0.029	-0.054	0.2984
0.040	0.011	-0.059	-0.099	0.2986
0.024	-0.002	-0.043	-0.075	0.3005
0.040	0.008	-0.025	-0.049	0.3017
0.034	0.008	-0.033	-0.064	0.3044
0.006	-0.017	-0.046	-0.073	0.3110
0.003	-0.026	-0.061	-0.084	0.3235
0.044	0.007	-0.021	-0.047	0.3485
0.070	0.029	-0.014	-0.036	0.3497
0.048	0.013	-0.017	-0.042	0.3558
0.052	0.023	-0.015	-0.037	0.3573
0.040	0.010	-0.032	-0.056	0.3643
0.067	0.0260	-0.019	-0.030	0.3669
0.030	0.003	-0.005	-0.007	0.3673
0.058	0.032	-0.015	-0.031	0.3747
0.065	0.029	-0.015	-0.036	0.3771
0.077	0.045	-0.010	-0.021	0.3904
0.076	0.057	-0.018	-0.027	0.3922
0.063	0.037	-0.006	-0.023	0.3940
0.056	0.025	-0.002	-0.027	0.3988
0.062	0.034	-0.003	-0.015	0.4004

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	F
0.058	0.032	-0.012	-0.033	0.4064
0.076	0.031	-0.004	-0.010	0.4081
0.087	0.056	0.005	0.006	0.4257
0.103	0.076	0.022	0.018	0.4279
0.126	0.096	0.057	0.045	0.4332
0.121	0.078	0.023	0.022	0.4359
0.129	0.097	0.051	0.051	0.4409
0.130	0.097	0.051	0.058	0.4421
0.150	0.116	0.061	0.060	0.4473
0.155	0.125	0.077	0.086	0.4488
0.200	0.161	0.102	0.100	0.4671
0.204	0.172	0.125	0.124	0.4689
0.193	0.157	0.098	0.101	0.4692
0.203	0.170	0.116	0.127	0.4752
0.203	0.185	0.133	0.154	0.4769
0.201	0.164	0.113	0.116	0.4770
0.200	0.156	0.108	0.103	0.4797
0.230	0.204	0.148	0.155	0.4993
0.230	0.198	0.137	0.133	0.5067
0.191	0.158	0.107	0.103	0.5303
0.191	0.144	0.119	0.113	0.5336
0.113	0.134	0.086	0.089	0.5391
0.114	0.084	0.048	0.034	0.5652
0.106	0.067	0.021	0.007	0.5659
0.116	0.080	0.032	0.014	0.5676
0.079	0.048	-0.002	-0.007	0.5685
0.096	0.062	0.028	-0.003	0.5739
0.073	0.042	-0.002	-0.021	0.5960

ΔR	ΔV	ΔB	ΔU	F
0.052	0.047	0.008	-0.005	0.6024
0.054	0.030	-0.002	-0.025	0.6138
0.035	0.008	-0.022	-0.052	0.6194
0.045	0.011	-0.021	-0.044	0.6255
0.050	0.028	-0.002	-0.014	0.6264
0.055	0.023	-0.018	-0.027	0.6336
0.065	0.028	-0.020	-0.027	0.6918
0.034	0.004	-0.031	-0.053	0.6976
0.037	0.013	-0.030	-0.055	0.7039
0.047	0.021	-0.027	-0.056	0.7060
0.025	0.000	-0.034	-0.056	0.7121
0.040	0.013	-0.022	-0.041	0.7181
0.040	0.005	-0.038	-0.056	0.7559
0.031	0.003	-0.042	-0.058	0.7968
0.024	-0.005	-0.052	-0.058	0.8154
0.035	0.000	-0.039	-0.064	0.8295
0.039	0.009	-0.035	-0.055	0.8424
0.052	0.025	-0.020	-0.013	0.8794
0.016	-0.010	-0.046	-0.055	0.8979
0.006	-0.024	-0.023	-0.068	0.9087
0.054	0.029	-0.006	-0.018	0.9173
0.043	0.018	-0.016	-0.024	0.9244

2.4.4 Наблюдения UU Кассиопеи

Наблюдения UU Cas выполнены в астрономической обсерватории УрГУ с 1984г. по 1989г. на одноканальном фотометре телескопа АЗТ-3 с диаметром зеркала 45-см в четырех близких к стандарту фотометрических полосах UBVR. UU Cas [BD+60°2629; $m_{max}=10.8''(p)$, $P=8.51929^d$; $Sp=B0.5\text{ III}$]. Данные о звездах сравнения приведены в таблице 2.4.11. Эти звезды предложены на карте С. Payne (HD 883) и использовались в более ранних работах, что чрезвычайно полезно для длительного мониторинга звезды и выявления изменений в системе, имеющих большой временной масштаб.

Таблица 2.4.11 Информация о звездах

Имя зв.	звезда	N по BD	Sp	α_{1950}	δ_{1950}	$m(p)$
UU Cas	перем.	BD+60 2929	B0.5	23 48 06	60 38.1	10.19-10.54
d	сравн.	+60 2632	B2	23 50 15	60 43.00	10.21
e	контр.	+60 2628	A2	23 48 01	60 44.00	10.34

Получено около 190 дифференциальных оценок блеска звезды в каждом фильтре. Выполнены указанные выше редукции. Точность измерений, определенная по разности блеска контрольной звезды и блеска звезды сравнения составила $\sigma_U=\pm 0.028''$, $\sigma_B=\pm 0.020''$, $\sigma_V=\pm 0.018''$, $\sigma_R=\pm 0.016''$. Значения нормальных точек кривой изменения блеска UU Кассиопеи для UBVR фотометрических полос приведены в таблице 2.4.13, где даны фазы периода наблюдений, вычисленные по эфемеридной формуле, полученной автором, соответствующие им разности блеска переменной звезды и звезды сравнения и веса нормальных точек, равные числу объединенных индивидуальных наблюдений. Во время наблюдений получено три главных и два вторичных минимума. Они приведены в таблице 2.4.12, и использовались для уточнения эфемеридной формулы:

$$I \min = JDH\ 2445722.109 + 8.51929^d \cdot E.$$

Таблица 2.4.12 Моменты минимумов UU Cas

JDH	min	JDH	min
2445739.1474	I	2445743.3155	II
5756.1405	I	6791.2745	II
6821.1130	I		

Кривые блеска иллюстрируются на рис. 2.4.8. Кривые имеют разновысокие максимумы в цветах BVR, наибольшее различие высот в

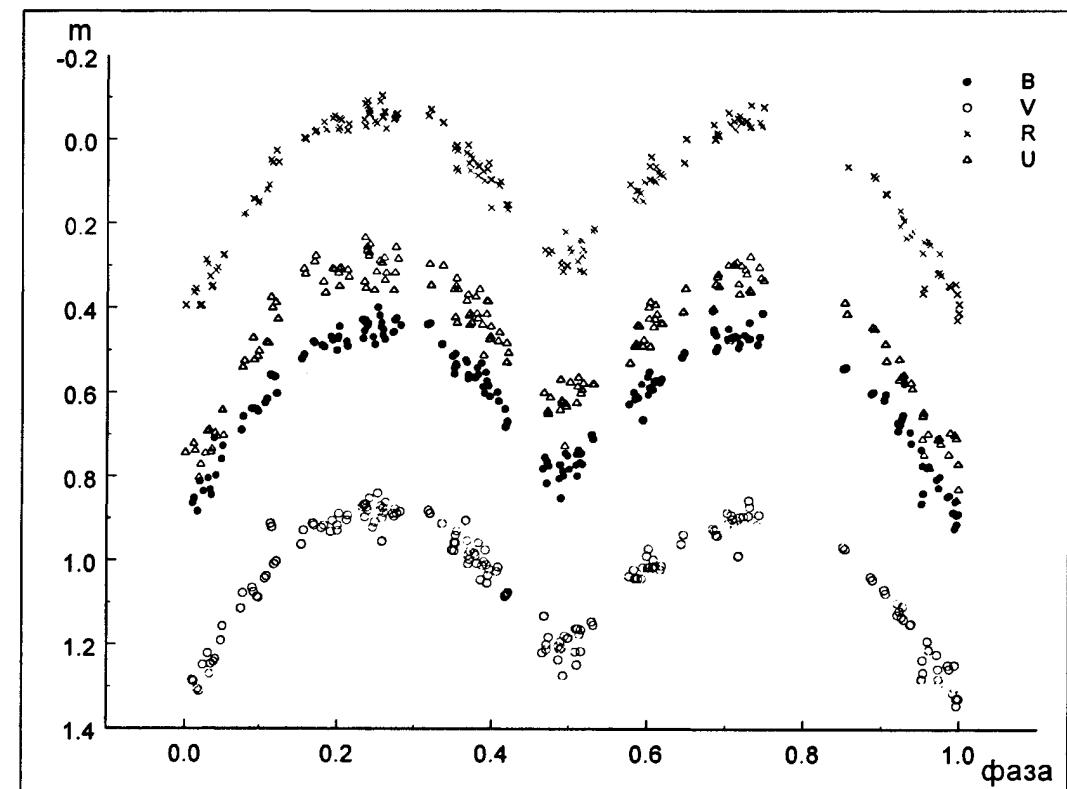


Рис. 2.4.8 UBVR кривые изменения блеска UU Cas в 1984-1989гг.

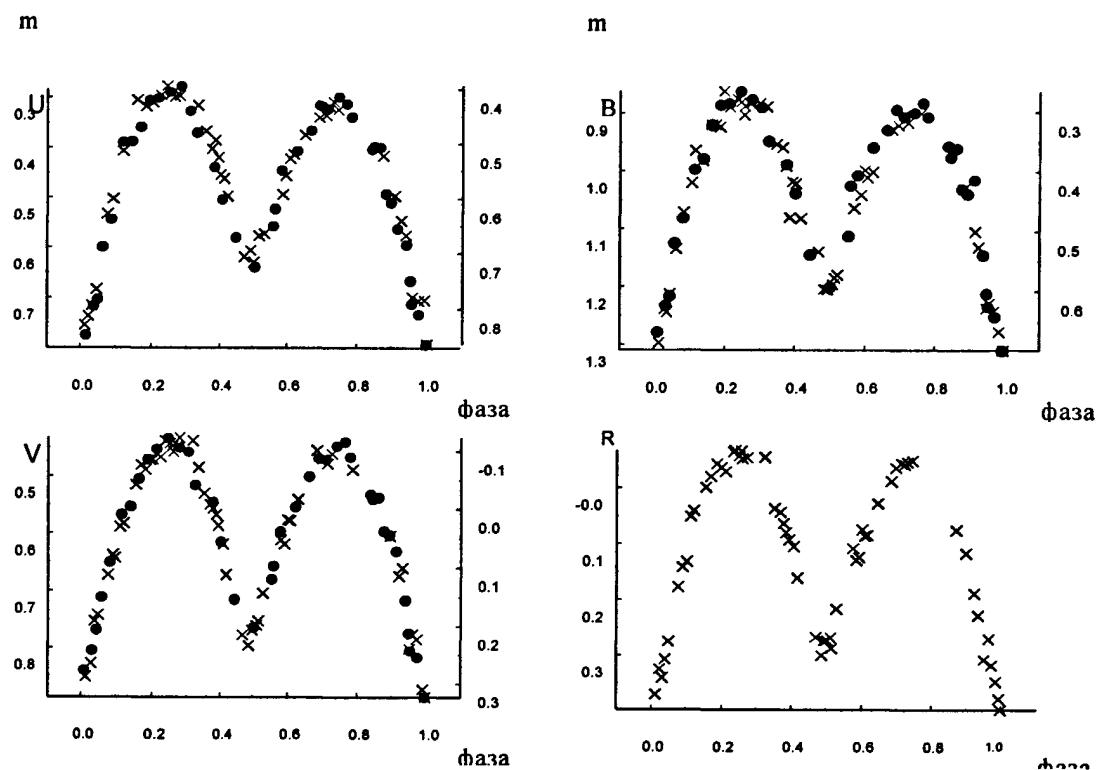


Рис. 2.4.9 Сравнение кривых изменения блеска UU Cas за два сезона 1975-1984гг. (кружки) и 1984-1989гг. (крестики).

0.03^m имеет место в V - цвете. В фазах 0.45-0.60P во всех цветовых интервалах наблюдается избыточное излучение примерно в 0.05^m .

В 1992г. появилась статья Антохиной и Кумсиашвили (1992), в которой приведены средние фотоэлектрические UVB кривые блеска UU Cas, полученные в 1975-1984гг. Сравнение характера переменности звезды в два различных, но достаточно близких сезона на высокоточном наблюдательном материале подтвердило наличие разновысоких максимумов кривых изменения блеска однако, эффект этот был явно "более горячий": различие высот максимумов наблюдалось в цветах BU, но отсутствовало в V-цвете. Глубины минимумов можно считать достаточно близкими. Также имеются избытки блеска на восходящих ветвях II минимума. Однако, у более ранней кривой заметно искажен I минимум во всех цветах, а также имеются деформации, порядка 0.04^m , в максимумах (рис. 2.4.9). Напрашиваются выводы, что кривая блеска UU Cas испытывает изменения блеска, отличные от изменений, связанных с изменением геометрии двух звезд относительно луча зрения; автор провела наблюдения UU Cas, когда в системе были более спокойные условия. На диаграмме (O-C) (рис. 2.4.10), связанной с изменениями периода, наблюдения автора отмечены крестиками. На графике видно, что вековое изменение периода на временном интервале в 90 лет отсутствует, (однако, видимо, имели место скачкообразные изменения периода в районе 1938-1939 г. и 1955-1956 г.)

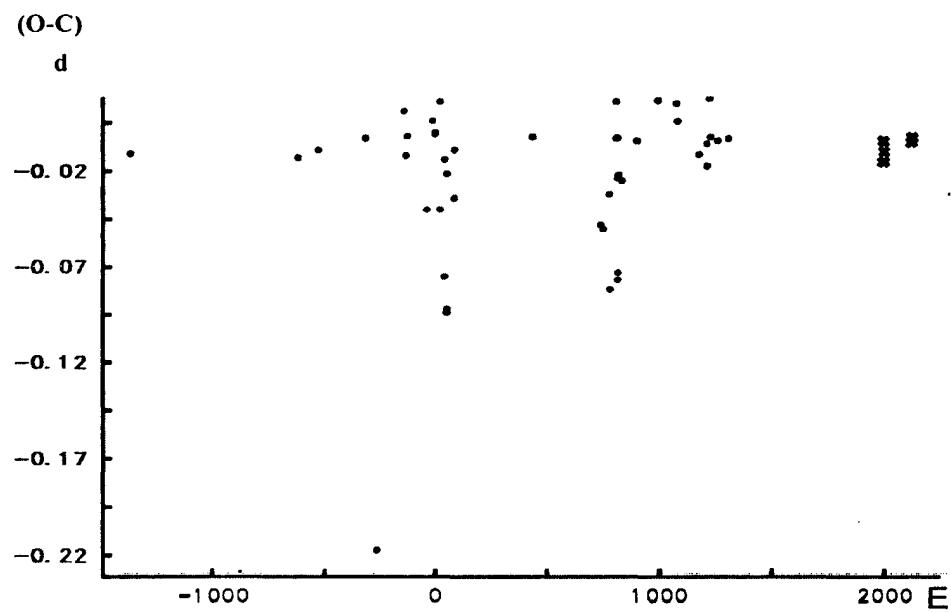


Рис.2.4.10 Изменение периода UU Cas
(наблюдения автора отмечены крестиками)

Таблица 2.4.13 Нормальные точки кривой изменения блеска UU Cas(1984-1989)

FR	ΔR	NR	FV	ΔV	NV	FB	ΔB	NB	FU	ΔU	NU
p	m		p	m		p	m		p	m	
0.0140	0.371	3	0.0146	0.852	4	0.0147	1.297	4	0.0141	0.754	3
0.0253	0.325	3	0.0307	0.828	4	0.0297	1.239	4	0.0253	0.736	3
0.0337	0.341	3	0.0401	0.753	2	0.0369	1.244	2	0.0353	0.715	4
0.0413	0.307	2	0.0501	0.742	2	0.0453	1.212	2	0.0482	0.683	3
0.0511	0.274	2	0.0775	0.673	2	0.0636	1.135	2	0.0788	0.533	2
0.0788	0.177	2	0.0911	0.638	2	0.0850	1.071	2	0.0949	0.503	4
0.0911	0.142	2	0.0972	0.643	2	0.0949	1.081	2	0.1126	0.435	4
0.1034	0.132	4	0.1115	0.589	4	0.1075	1.020	4	0.1222	0.407	2
0.1148	0.051	2	0.1209	0.583	2	0.1180	0.964	2	0.1615	0.305	3
0.1222	0.041	2	0.1560	0.515	2	0.1384	0.982	2	0.1790	0.325	3
0.1573	-0.001	2	0.1700	0.480	2	0.1633	0.919	2	0.1984	0.317	5
0.1707	-0.020	2	0.1817	0.489	2	0.1755	0.919	2	0.2199	0.302	5
0.1884	-0.043	4	0.1929	0.472	2	0.1875	0.923	2	0.2383	0.284	5
0.2015	-0.037	4	0.2009	0.471	4	0.1991	0.861	4	0.2499	0.300	5
0.2126	-0.029	2	0.2228	0.467	4	0.2155	0.889	4	0.2602	0.306	4
0.2353	-0.064	4	0.2368	0.438	4	0.2358	0.874	4	0.2748	0.304	4
0.2395	-0.067	4	0.2398	0.439	2	0.2394	0.876	2	0.3287	0.323	2
0.2505	-0.057	3	0.2507	0.443	4	0.2473	0.880	4	0.3533	0.374	6
0.2573	-0.066	4	0.2575	0.448	3	0.2566	0.902	3	0.3706	0.410	6
0.2601	-0.052	3	0.2602	0.458	3	0.2568	0.887	3	0.3813	0.392	4
0.2738	-0.054	4	0.2730	0.447	3	0.2696	0.881	3	0.3914	0.427	5
0.3243	-0.055	3	0.2792	0.433	2	0.2765	0.882	2	0.3976	0.462	3
0.3531	0.037	6	0.3188	0.438	2	0.3005	0.882	2	0.4086	0.469	2
0.3693	0.044	5	0.3356	0.485	1	0.3210	0.888	1	0.4193	0.504	3
0.3786	0.064	4	0.3523	0.531	6	0.3494	0.953	6	0.4718	0.626	4
0.3864	0.080	3	0.3697	0.550	6	0.3664	0.959	5	0.4893	0.613	4
0.3955	0.093	6	0.3789	0.557	5	0.3769	0.991	5	0.4989	0.637	5
0.4086	0.105	2	0.3894	0.568	4	0.3873	1.080	4	0.5138	0.584	5
0.4184	0.161	4	0.3955	0.587	4	0.3941	1.018	4	0.5304	0.580	2
0.4715	0.266	3	0.4107	0.619	3	0.4043	1.021	3	0.5820	0.501	3
0.4890	0.299	3	0.4190	0.673	3	0.4191	1.082	4	0.5914	0.463	4

FR	ΔR	NR	FV	ΔV	NV	FB	ΔB	NB	FU	ΔU	NU
0.4949	0.273	3	0.4702	0.777	5	0.4693	1.140	4	0.6035	0.429	5
0.5030	0.272	3	0.4888	0.796	5	0.4853	1.204	5	0.6135	0.421	5
0.5127	0.267	4	0.4988	0.769	5	0.4954	1.205	5	0.6468	0.382	2
0.5164	0.287	2	0.5111	0.761	4	0.5098	1.196	4	0.6875	0.347	5
0.5295	0.216	2	0.5156	0.753	3	0.5149	1.185	3	0.7063	0.343	4
0.5765	0.108	1	0.5296	0.705	2	0.5226	1.180	2	0.7162	0.325	4
0.5859	0.129	4	0.5825	0.612	4	0.5693	1.064	4	0.7279	0.316	4
0.5935	0.124	2	0.5918	0.619	3	0.5894	1.041	3	0.7417	0.332	4
0.6019	0.075	4	0.6015	0.577	4	0.5998	0.998	4	0.8713	0.424	4
0.6093	0.086	4	0.6088	0.578	4	0.6072	1.011	4	0.9046	0.504	2
0.6171	0.085	2	0.6312	0.541	4	0.6229	1.001	4	0.9241	0.554	5
0.6468	0.028	2	0.6855	0.455	5	0.6769	0.927	5	0.9376	0.583	2
0.6855	-0.012	5	0.7022	0.470	5	0.6948	0.920	5	0.9554	0.706	6
0.6980	-0.036	3	0.7152	0.478	4	0.7108	0.902	4	0.9737	0.713	3
0.7128	-0.044	5	0.7278	0.461	5	0.7230	0.916	5	0.9905	0.712	4
0.7229	-0.042	3	0.7873	0.489	5	0.7594	0.900	5	0.9980	0.799	4
0.7303	-0.046	3	0.8957	0.605	4	0.8832	1.031	4			
0.7448	-0.049	3	0.9222	0.675	4	0.9172	1.105	4			
0.8713	0.076	2	0.9322	0.661	4	0.9266	1.132	4			
0.8991	0.117	3	0.9520	0.802	4	0.9489	1.237	4			
0.9238	0.188	5	0.9596	0.776	2	0.9568	1.228	2			
0.9343	0.227	3	0.9729	0.785	4	0.9702	1.242	4			
0.9520	0.307	4	0.9896	0.874	4	0.9853	1.277	4			
0.9656	0.269	4	0.9969	0.887	4	0.9964	1.309	5			
0.9738	0.317	2									
0.9858	0.347	2									
0.9948	0.378	3									
0.9988	0.398	3									

Глава 3. Анализ кривых блеска исследуемых массивных тесных двойных систем с горячими компонентами

Главной последовательности

3.1 Модели двойных систем и методы анализа кривых изменения блеска затменных переменных звезд

3.1.1 Классические методы анализа кривых блеска ТДС

Систематическое исследование тесных двойных систем (ТДС) с обычными (нерелятивистскими) компонентами насчитывает уже примерно сто лет. Выдающуюся роль в изучении затменных двойных систем сыграла модель Расселла с процедурой ректификации. Она была детально разработана и развита в работах Russell (1912 а, в, 1939, 1942, 1945, 1948), Russell, Merrill (1952), Kopal (1946, 1959), Piotrowski (1948), Цесевича (1971), Мартынова (1971). Применение ЭВМ позволило перейти к более детальной ее реализации, Proctor, Linnell (1972), Лавров (1971, 1973), и др.

Модель кривой изменения блеска обеспечивает качественную и количественную сторону интерпретации реальных двойных звездных систем. В основу модели положены две звезды сферической или эллипсоидальной формы, синхронно обращающихся по круговым или эллиптическим орбитам. Центральным пунктом модели Расселла является процедура ректификации, посредством которой наблюдаемая кривая блеска корректируется под гипотетическую двойную со сферическими компонентами синхронно меняющими свои размеры, с потемнением к краю, находящимися на круговой орбите. Процесс ректификации делит проблему моделирования на две основные части. Первая - использует наблюдаемое изменение яркости вне затмения для получения параметров приливной деформации, эффектов поверхности яркости, связанной с деформацией, и амплитуды эффекта отражения. После этого кривая блеска исправляется за эти эффекты (ректифицируется). Ректифицированная кривая имеет участки постоянного блеска вне затмений, и ее далее интерпретируют в модели двух сферических звезд, на круговых орbitах. Полученные в процессе решения параметры такой модели далее исправлялись в обратном направлении с учетом найденных параметров ректификации, эллипсоидальности и "отражения". Такие модели иногда называют "геометрическими". Для решения ряда задач, например, для определения основных физических характеристик компонентов, точность и достоверность результатов в рамках этой модели во многих случаях

вполне достаточны. Когда основной целью исследования является изучение эффектов взаимодействия компонентов (лучистого, гравитационного, переноса масс) нужна более сложная, "индивидуализированная модель" системы, однако, для ее построения необходимо уже располагать значительной и достаточно надежной информацией об изучаемой системе, а для этого опять приходится прибегать к помощи модели Расселла. Ресурсы этой модели значительно богаче (Koch R. H., 1970), чем это принято считать. Утверждение в полезности геометрических моделей отмечено значительным числом публикаций, в которых они использовались.

Первые публикации в нашей стране по машинному анализу кривых блеска в модели Расселла и доступные программы появились в восьмидесятых годах (Лавров 1980, 1981, 1982). В их основе лежит модифицированная модель Расселла. Комплекс программ обслуживает ректификацию кривой блеска, прямой метод определения элементов фотометрических орбит, метод дифференциальных поправок.

С развитием ЭВМ в семидесятых годах за рубежом появляются новые модели, основанные на законах гидростатики для поверхностного уровня. Они требуют много больше расчетов, чем для эллипсоидов, но не так много, чтобы перегрузить машину. Фундаментальные идеи состоят в том, что поверхности равной плотности совпадают с поверхностями равного гравитационного потенциала во вращающейся системе двух тел (модель Роша).

Параллельно появляются новые методы анализа кривых блеска, которые называют синтезом кривых блеска. В качестве модели выбирается либо тесная двойная система с компонентами, аппроксимированными трехосными эллипсоидами (Wood 1971), либо их фигуры совпадают с эквипотенциальными поверхностями в модели Роша (Wilson, Devinney 1971). Осевое вращение звезд, находящихся на круговых орбитах, предполагается синхронным с орбитальным обращением. Деформированные поверхности звезд разбиваются на малые элементы. Для каждой элементарной площадки вычисляется угловая зависимость интенсивности выходящего излучения, которая определяется эффективной температурой, законом потемнения к краю, гравитационным потемнением и эффектом прогрева излучением спутника (эффект "отражения"). Вклады элементов поверхности в полное излучение системы суммируются с учетом затмений. Полученная теоретическая кривая блеска сравнивается с наблюдаемой. Многократно решая прямую задачу синтеза теоретических кривых блеска, и минимизируя функцию невязок, определяются параметры ТДС, наилучшим образом удовлетворяющие наблюдениям. Стоит подчеркнуть, что введение методов синтеза кривых блеска не потребовало сколько-нибудь серьезной ревизии результатов, ранее полученных с помощью классических методов.

В нашей стране методы синтеза теоретических кривых блеска ТДС стали применяться почти на 10 лет позже, чем за рубежом. Это связано, главным образом, с ограниченными до недавнего времени возможностями в использовании крупных ЭВМ, способных решать подобные задачи. Первые алгоритмы синтеза кривых блеска для систем с обычными (нерелятивистскими) компонентами публикуют Пустыльник и Эйнасто (1984а, б, 1987), их работы по моделированию кривых блеска ТДС с оптическими компонентами с околовзвездными оболочками. Антохина и Черепашук (1985, 1987, 1988 а, б) разработали алгоритм для двух оптических компонентов в трех различных моделях: ТДС в рамках модели Роша, ТДС с геометрически толстым диском, ТДС с "прецессирующими" геометрически толстым диском.

3.1.2 Современное развитие моделей тесных двойных систем

Анализ или, как часто говорят, решение кривых блеска является одной из самых трудных и тонких проблем в исследовании двойных звезд. Повышение точности наблюдательного материала и развитие ЭВМ позволяет ставить и решать задачи, недоступные прежде по причине сложности теории, большого числа исходных данных или промежуточных результатов, получаемых в процессе решения задачи, а также изучать особенности систем с нерелятивистскими компонентами различных типов. Современные версии алгоритмов синтеза теоретических кривых блеска позволяют учитывать эксцентричность орбит, несинхронность вращения, прецессию в двойных системах, запятнанность поверхности звезд, наличие дисков у компонентов. Построение физических моделей, учитывающих несинхронное вращение, выполнено в работах Wilson (1979), Linnell (1984). Несинхронное вращение с эллипсоидальными компонентами, где фигура звезды не может следовать за осцилляциями силового поля и поэтому отличается от стандартной звездной модели, реализовано в работах Willson, Terrell (1994). Программы для эксцентричных орбит созданы Wood (1971), Nelson, Davis (1972), Etzel (1981, 1993), Лавров (1980, 1981, 1982). Физические модели достаточно тесных двойных, находящихся на эксцентрических орбитах и испытывающие заметные приливы, вызывающие переменность фигур и поверхностных яркостей, разработаны Wilson, Woodward (1983). Более сложные физические модели, совмещающие несинхронизм с эксцентрическими орбитами (Hill, 1979), (Hill, Rucinski, 1993), (Wilson, 1979). Программа Wilson (1993а) может быть использована в любой из восьми различных модификаций.

Многие современные методы включают одновременные решения кривых блеска, полученных в нескольких спектральных полосах, а также совместные решения кривых блеска и кривых лучевых скоростей.

Ряд авторов, например, (Eaton, Hall, 1979), (Kang, Wilson, 1989), (Linnell, 1991а, б, д), (Wilson 1992), включили пятна в обычные модели.

Модели Wilson-Devinney сейчас позволяют перемещать пятна вместе с физической поверхностью в несинхронном вращении звезд. Существуют самые разные комбинации - с ректификацией и без ректификации, использующие сферические, эллипсоидальные или эквипотенциальные поверхности звезд - круговые или более сложные формы пятен, движущиеся или стационарные.

Разработаны программы для моделей с диском (Wilson 1974b), (Wilson, Lapasset 1981), (Антохина, Черепашук 1988). Имеются структурные модели диска - (Wilson 1981, 1982), (Hubeny, Plavec 1991), (Hubeny et all. 1994). Обширный обзор на эту тему опубликован Wilson (1994).

3.1.3 Модели, учитывающие влияние газовой составляющей системы

За последние 50 лет накоплено очень много наблюдательных свидетельств в том числе и внеатмосферных в пользу того, что в сфере гравитационного притяжения типичных ТДС имеется достаточно газа, способного оказать искажающее влияние на кривые блеска, кривые лучевых скоростей и вид спектра. Наиболее типичные наблюдаемые аномалии кривых блеска, которые способны значительно повлиять на результат решения, являющиеся особенно информативными с точки зрения зондирования физических условий в околозвездных газовых средах, и по возможности для более точного определения физических и кинематических параметров самой ТДС (Пустыльник, Эйнасто 1990), это:

- 1 асимметрия кривых блеска (неравенство высот соседних максимумов, различная крутизна нисходящих и восходящих ветвей минимумов, присутствие локальных депрессий: горбов, впадин);
- 2 сдвиги моментов минимумов относительно соединений (часто переменной величины);
- 3 сложные изменения цвета с фазой орбитального периода;
- 4 наличие протяженных крыльев вблизи моментов первого и последнего контактов в минимуме;
- 5 расхождения между данными спектроскопии и фотометрии в определении ряда параметров: e , q и т.д.)
- 6 различия длительности минимумов.

В работах Пустыльника и Эйнасто (1985, 1990) была предложена новая модель ТДС, состоящая из двух звезд, погруженных в общую полупрозрачную оболочку, заполняющую первую или вторую критическую полость Роша. Введено понятие газозатменной переменной, как ТДС, в которой происходят периодические изменения блеска вследствие переменного эффекта экранирования излучения компонентов полупрозрачным газом. Показано, что учет влияния околозвездного газа приводит к

1) гораздо лучшему согласию теоретических оценок и наблюдаемых значений. Так теоретическая оценка A_1 [$A_1=0.4(G_1-G_2)Sin i$] очень чувствительна к величине радиуса спутника r_2 . Кажущийся избыток радиуса спутника из-за неучтенного влияния околозвездной оболочки на 25% приводит к полуторакратному уменьшению A_1 . Теоретическое значение A_2 определяется выражением $A_2=0.5(L_1z_1+L_2z_2)$, где z_1 , z_2 -эллипсоидальности компонентов. Если задать максимально возможные значения, соответствующие заполнению ВКП компонентов, то получается $0.01 < |A_2| < 0.558$. Нижнее граничное значение получено при учете влияния только спутника, а верхнее - главного компонента, заполняющего ВКП.

2) Светимость оболочки складывается из однократно рассеянного излучения компонентов и собственного рекомбинационного излучения оболочки. Т.к. при $\tau \ll 1$ светимость оболочки примерно на 1.5-2 порядка меньше светимости главного компонента и смещена в длинноволновую область спектра, оценивается ее влияние по $T_{\text{обол.}}$ на цветовые характеристики ТДС. Можно оценить избытки цвета $\Delta(U-B)$, $\Delta(B-V)$, $\Delta(V-R)$, $\Delta(V-I)$ путем сравнения модели с оболочкой и без нее для разных значений углов фазы. Для алголей, например, избытки цвета вблизи дна минимума достигают заметной величины. Максимальное значение избытков цвета соответствуют различию в 2-3 спектральных подкласса.

3) Наличие оболочки, например, массой порядка $M_{\text{об}}=10^{-8}-10^{-7} M_\odot$ и отношением числа электронов к числу протонов не менее 10-50 приводит к сильному искажению формы и глубины вторичного минимума. При решении кривой блеска традиционными методами это приведет к кажущимся избыткам радиуса второго компонента Δr_2 , избыткам светимости спутника ΔL_2 .

Итак, околозвездный газ может в значительной степени исказить параметры системы, если они определялись без учета этого влияния. Существует и эволюционный аспект его исследования. Начиная с пионерских работ, посвященных изучению двойных звезд и в большинстве последующих исследований, особое внимание уделялось рассмотрению влияния массообмена на эволюцию системы (Struve 1941, Kuiper 1941, De Greve 1986, Plavec 1990). В этих работах было установлено, что эволюция взаимодействующих двойных систем (ВДС) определяется несколькими основными процессами, а именно: истечением вещества из первого компонента, акрецией вещества на вторичный компонент, образованием общих оболочек, а также потерей системой вещества и углового момента. Как правило, исследования эволюции двойных систем опираются на усредненные во времени макрохарактеристики процессов обмена веществом и не рассматривают детали течения вещества в системе. Однако, регистрируемые наблюдательные проявления течения вещества отражают текущий статус системы. Для их интерпретации необходимо рассмотрение структуры течения. Исследование кинематики и газодинамики перетекания вещества позволяет уточнить общие

характеристики переноса вещества и, следовательно, необходимо при рассмотрении эволюции системы.

В работах Бисикало и др. (1997а, б, 1998) разработан ряд газодинамических моделей, используемых для исследования процессов перетекания вещества во взаимодействующих двойных системах без сильного магнитного поля. Ими представлено три широких класса моделей: 1) где перенос вещества определяется лишь потоком массы с одной из компонент, где обмен веществом происходит через окрестность первой точки Лагранжа L_1 ; во втором и третьем классах моделей обмен веществом определяется звездным ветром, 2) где отношение скорости звездного ветра к орбитальной скорости системы $W \leq 1$, и 3) где $W \ll 1$.

В работах этих авторов (Бисикало и др. 1997а, б, 1998) было показано, что вследствие перетекания вещества от одного компонента к другому формируется общая оболочка системы. Для любой полуразделенной системы с общей оболочкой адекватное ее описание возможно только в моделях, где влияние оболочки принято во внимание. Однако, анализ течения вещества в двойной системе и определение параметров газа предполагает, что семь элементов орбиты двойной звезды известны заранее (период обращения системы, разделение компонент, отношение их масс, масса главной компоненты, и геометрические размеры компонент).

Ниже приводится анализ данных фотометрии исследуемых звезд, на первоначальном этапе которого используется программа Лаврова (1980, 1981, 1982) основанная на модели Расселла - Меррилла. Для анализа кривых блеска SZ Cam использованы программы Pustylnik (1994).

3.2 Анализ полученных кривых блеска. Вклад газовой составляющей

3.2.1 СС Кассиопеи

3.2.1.1 Введение

СС Cas относится к очень горячим звездам с явным покраснением, "ненормальным для своего класса" (Pearce 1927). Как член агрегата I Cam (Morgan W.W. et al. 1953) система часто встречается в работах каталогного характера. Ее классифицируют как 08÷09.5, при этом исследователи достаточно единодушны в своих оценках спектрального класса (табл. 3.2.1), но несколько расходятся в оценках класса светимости. СС Cas была открыта Pearce (1927) как система с двойными линиями, однако в последующих спектроскопических исследованиях встречаются работы, где авторы подчеркивают, что в спектрах видны линии только одного компонента, табл. 3.2.1.

Имеются доказательства в пользу сильного звездного ветра у СС Cas, по крайней мере из главного компонента этой системы. Conti (1973) сообщил, что "линии He II $\lambda 4686$ настолько слабы в этой O9III звезде, как это бывает в сверхгигантах того же класса. Однако, другие показатели высокой светимости, сильные линии N III и Si IV соответствуют III классу светимости. Это может быть звезда-гигант с линией HeII $\lambda 4686$, образованной в обширной оболочке".

При исследовании ультрафиолетовых спектров О-звезд Howarth, Prinja (1989) оценили скорость потери вещества звездным ветром для СС Cas $3 \cdot 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$ на основе ультрафиолетовых резонансных линий C IV, N V, Si IV. Эти значения значительно меньше оценок Peppel (1984), основанных на Hα профилях, $3 \cdot 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$.

Ряд радиообзоров О-звезд, включивших СС Cas как возможный источник радиоизлучения после открытия Gibson, Hjellming (1974), показали, что СС Cas претерпела вспышки радио-эмиссии. Gibson (1980) указал, что эмиссия была, вероятно, тепловая, вследствие истечения вещества звездным ветром. Однако, позже, как Mutel, Lestrade (1985), так и Bieging et al. (1989), не смогли зарегистрировать никакой плотности потока излучения в радиодиапазоне от СС Cas, т.е. она была в 10 раз ниже. Этот источник, следовательно, является сильно переменным.

Первые электрофотометрические наблюдения СС Cas были опубликована в 1930 г. Guthnick, Prager, однако до 1972 г. каких-либо регулярных наблюдений ее не проводилось, да и те до 1980 г. были

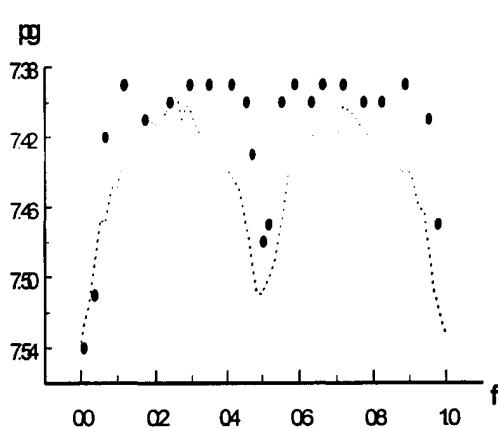
немногочисленны (Hilditch, Hill (1975), Srivastava (1979), Binzel, Hartigan (1979-1980), Walker et al. (1971)). Данные об этих наблюдениях приведены в таблице 3.2.2 и иллюстрированы на рис. 3.2.1. Хорошо заполненная и представленная большим количеством данных кривая изменения блеска CC Cas (740 фотоэлектрических В- и V- оценок блеска системы и по 80 U- и R- оценок), приемлемая для анализа и сравнений была получена только в 1980-1983 гг. автором (Полушкина, 1985) в Астрономической обсерватории УрГУ (рис.3.2.2).

Таблица 3.2.1 Данные о спектроскопических исследованиях CC Cas

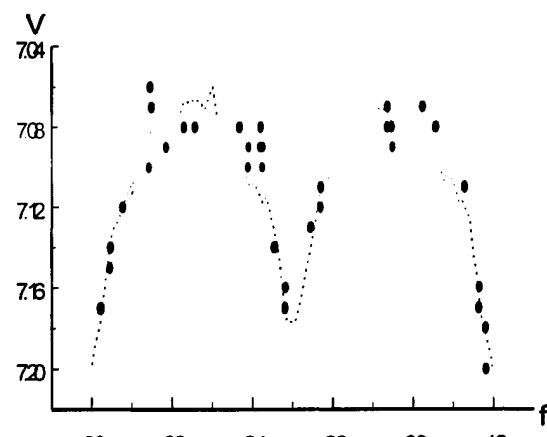
Автор	Sp	e, ω	Примечание
Pearce (1926)	O8+O8	0.1, 301	
Plasket, Pearce (1933)	O8nk		
Petrie (1950)	O8		
Payne-Gaposchkin (1952)	O8+O8		
Pearce (1957)	O8+O8		
Popper D.M. (1957)	O9+O9		
Conti P.S., Alschuler W.R. (1971)	O9III		линии одиночные
Рачковская Т.М. (1974)	O9.4V		линии одиночные
Conti P.S. et al. (1977)	O9III		
Gies D.R. (1987)	O9IV+O9IV		
Hill G. et all (1994)	O8.5III+B0.5V		разделение линий в спектре методом томографии
Petrova, Orlov (1999)	O8.5III+B2IV	0.101	Pearce (1926),

Таблица 3.2.2 Данные о фотометрических исследованиях CC Cas

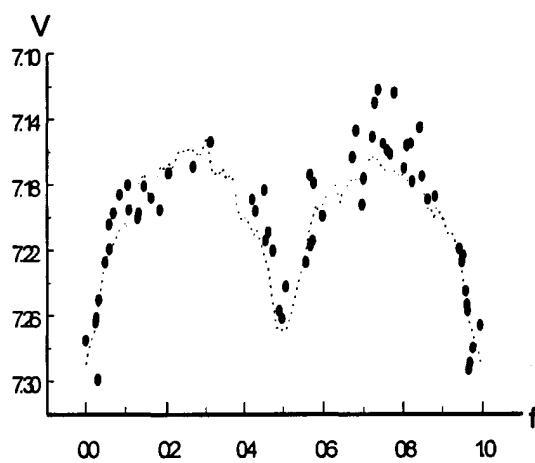
сезон	ссылка	Метод	Количество измерений	Примечание
	Gutnick P., Prager R., 1930	pe		
	Gaposchkin S. 1953	pg	276	23 нормал. точки
	Hilditch R., Hill G., 1975	pe	43	uvby
	Binzel R., Hartigan P. 1979-1980	pe	65	V
1965-1969, 1974	Srivastava Y.B., 1979	pe	52 минимумы	UBV
1974-1975	Hill G. et al., 1994	pe	33	V
1980-1983	Полушкина Т.С..1985	pe	740	UBVR
1988	Полушкина Т.С..1992	pe	108	UBVR



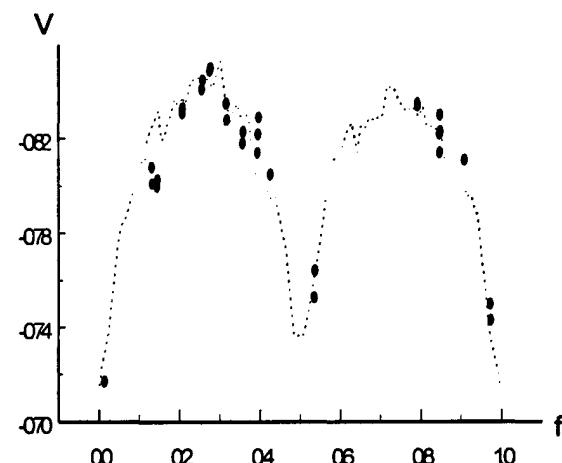
Gaposhkin (1953)



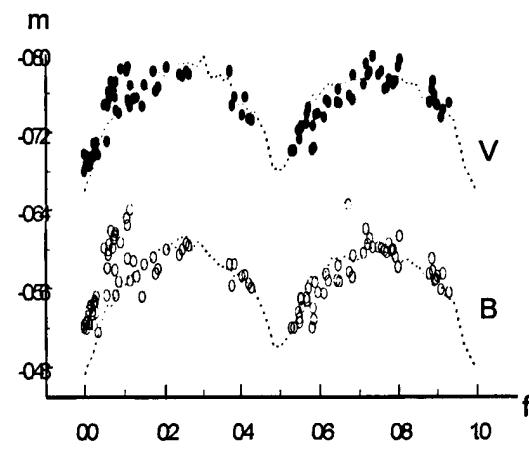
Hill, (1972-1973)



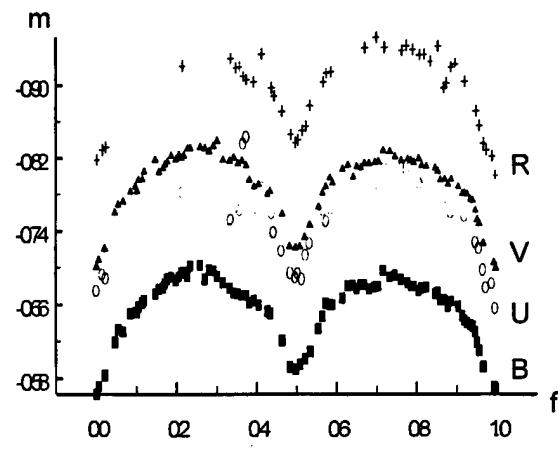
Binzel, (1989-1979)



Hill, (1974-1975)



Полушкина, (1988)



Полушкина, (1980-1983)

Рис.3.2.1 Сравнение кривых блеска CC Cas разных сезонов с кривой 1980-1983г. (отмеченной пунктирной линией)

3.2.1.2 Особенности кривых изменения блеска CC Cas сезона 1980-1983 гг.

Кривая изменения блеска этой системы мелкая с амплитудой в R - 0.130^m , в V - 0.130^m , в B - 0.135^m , в U - 0.145^m . Второй минимум мельче первого в U на 0.025^m , в B - на 0.025^m , в V - на 0.020^m , в R - на 0.020^m . Кривые блеска за 4 года изменяются от сезона к сезону на всех фазах периода, а в некоторых фазах имели место изменения от периода к периоду (раздел 2). Максимумы средних кривых блеска различаются на 0.010^m во всех цветах, однако имеются сезоны (например 4), когда это различие отсутствует. На рисунке 3.2.2, где разными символами отмечены наблюдения разных сезонов (JDH 2444000+: 262-337; 528-730; 852-1054; 1293-1435), которым соответствуют индексы 1, 2, 3, 4, хорошо видны наиболее крупные изменения кривых блеска, особенно в максимумах. Как правило, они носят селективный характер. Во второй сезон, отмеченный открытыми кружками, на V-кривой в фазах 0.05-0.25 средний уровень на 0.01^m выше, чем в третий сезон. При среднеквадратичной ошибке одного наблюдения в 0.007^m , точность средней кривой примерно 0.0035^m , т.е. эти изменения находятся за пределами 95% доверительного интервала. На B-кривой эти изменения мало заметны. В третий сезон кривая оказалась в среднем ниже на плечиках восходящих ветвей обоих минимумов: в V-

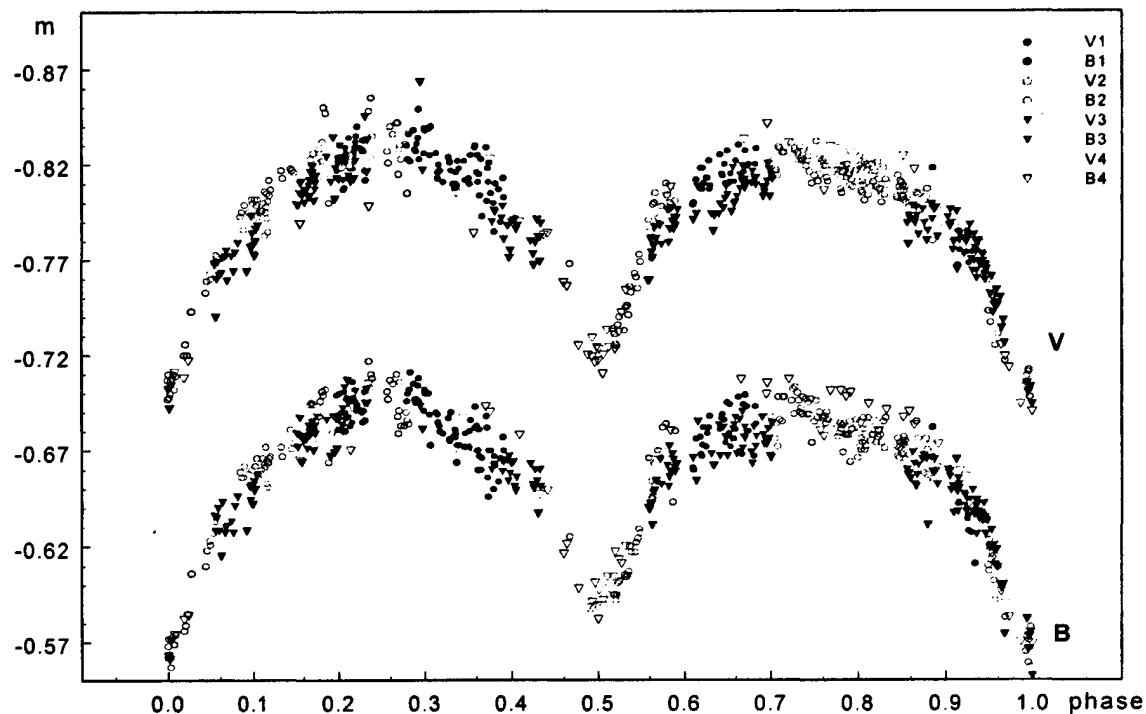


Рис.3.2.2 Кривые изменения блеска CC Cas 1980-1983. Разными значками отмечены наблюдения соответствующие разным сезонам.

цвете на фазах 0.075-0.20^P в среднем на 0.017^m, на фазах 0.58-0.70^P различия достигают 0,02^m. В В-цвете различия заметно меньше: в первом случае около 0,005^m, во втором - различия достигают 0,015^m. Четвертый сезон (отмеченный свободными треугольниками) характерен изменением формы и высот максимумов: в В-цвете, они равной величины в пределах ошибок, на V-кривой изменений нет.

3.2.1.3 Особенности кривых изменения блеска СС Cas сезона 1988г.

В 1988г. в Ташкентской обсерватории Узбекской АН на горе Майданак получено по 108 измерений блеска СС Cas в UBVR цветах Джонсона с той же звездой сравнения. Сравнение с наблюдениями 1980-1983гг., которые проводились с теми же звездами сравнения и контроля, обнаружило уменьшение общего уровня блеска СС Cas в R-цвете на 0.055^m, в V- на 0.045^m, в B - 0,090^m, в U- на 0.055^m (рис. 3.2.1). При этом не наблюдается изменений амплитуды переменности блеска. На восходящей ветви второго минимума видны колебания блеска. Уровень блеска в этой фазе периода, наблюдавшийся 8 октября, повторился 28 октября 1988г. т.е. через 7 периодов, и значимо отличается от уровня блеска, имевшего место 15 и 18 октября. Например, в фазе 0.59^P различия достигают значений 0.032^m, 0.040^m, 0.048^m, 0.030^m для RVBU-цветов соответственно. Подобные колебания на этих же фазах имели место в период наблюдений 1980 - 1983гг., но с амплитудой в 2 раза меньше. Блеск в максимумах, в фазе 0,25^P и 0.75^P, одинаков, для сравниваемого сезона различие составило 0.013^m в B- и 0.007^m в V-цвете. Новые моменты минимумов, полученные автором, использованы для исследования изменений периода системы. Значения периода оцененное по данным последних наблюдений значительно отличаются от периода, полученного из наблюдений 1980-1982гг. ($\Delta P=0.0003579^d$). На (О - С) - диаграмме (рис. 2.4.1.) после 1982 г. наблюдается скачок периода $\Delta P/P=5.23 \cdot 10^{-5}$. Более ранние скачки периода у системы были отмечены Srivastava (1979).

3.2.1.4 Определение фотометрических характеристик системы

Для определения фотометрических характеристик системы использовались нормальные точки В- и V-кривых изменения блеска 1980-1983гг. Решение выполнено на ЭВМ "Наури-К" по программе М. И. Лаврова (1980, 1981, 1982) с использованием процедуры ректификации. Для устранения различия высот максимумов при ректификации формально введен член $\text{Sin}\Theta$. Приближенное решение найдено прямым методом Лаврова, который реализован в комплексе программ, т. к. единственно известные элементы, полученные Plaut (1963) по фотографическим наблюдениям Гапошкина (1953), ($i=76^\circ$, $x=0.0$, $L_1=0.65$, $r_1=0.25$, $r_2=0.21$),

оказались сильно отличающимися от полученных в данной работе, и процесс последовательных приближений с этими элементами в методе дифференциальных поправок не дал сходимости. Метод Расселла-Меррилла также не дал решения. Приближенные элементы далее уточнялись методом дифференциальных поправок. Функция качества $\Psi(\Sigma(O-C)^2)$ обнаружила два локальных минимума: первый при значении $k=r_2/r_1=0.4$, второй мелкий и неустойчивый - при $k=1$. Результаты обоих решений приводятся в таблице 3.2.3 и последовательно исследованы в работе в связи с тем, что второе, хоть и менее соответствующее данным наблюдениям (рис. 3.2.3) ближе к элементам Plaut (1963). Первое решение хорошо согласуется с наблюдаемой кривой в обоих цветах. Второе решение имеет заметное расхождение теоретической кривой с наблюдениями во втором минимуме в цвете V. Теоретические кривые обоих решений в основном минимуме практически совпадают. Наилучшая сходимость решения получается при коэффициенте потемнения к краю $x=1$ для обоих компонентов, что, однако, не соответствует его теоретическому значению для горячих звезд. Надо заметить, что в литературе встречаются такие значения для некоторых горячих звезд, например AO Cas. Была сделана попытка найти какое-либо решение при $x=0.4$, но функция качества $\Psi(\Sigma(O-C)^2)$ не обнаружила локальные минимумы в области реальных решений.

Таблица 3.2.3 Элементы фотометрической орбиты CC Cas

	B	V	B	V
$k=r_2/r_1$	1	1	0.4	0.4
i	62. [°] 23	63. [°] 39	66. [°] 73	67. [°] 40
L_1	0.5454	0.5188	0.9091	0.9003
$x_{1,2}$	1	1	1	1
a_1	0.3309	0.3208	0.4428	0.4306
b_1	0.3185	0.3779	0.4274	0.4144
c_1	0.3108	0.3001	0.4177	0.4044
a_2	0.3309	0.3208	0.1771	0.1722
b_2	0.3185	0.3079	0.1710	0.1658
c_2	0.3080	0.3001	0.1671	0.1618

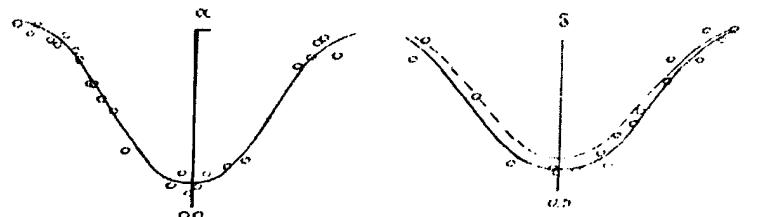


Рис.3.2.3 Решению с $k=0.4$ соответствует сплошная линия, решению с $k=1$ соответствует штриховая линия.

3.2.1.5 Абсолютные элементы орбиты CC Cas и эволюционный статус системы

Для оценки абсолютных элементов орбиты, которые приведены в таблице 3.2.4, использовались спектроскопические элементы Pearce (1957): $q=0.49$, $m \sin^3 i = 18.88$. Оценки спектрального класса звезды по разным источникам от O8 до O9.5 (таблица 3.2.1). Поэтому при оценке температуры второго компонента и светимостей компонентов рассмотрены обе границы. Спектр второго компонента оценивался из соотношения поверхностных яркостей, определенных из решения кривых блеска, с использованием шкалы эффективных температур Поппера (Popper 1980). На диаграмме Гершпрунга-Расселла (H-R), взятой из книги де Ягер (1984) отмечена область возможных положений главного компонента как для первого, так и для второго решения (рис. 3.2.4). В первом решении ($k=0.4$) более горячая звезда находится вблизи полосы на (H-R)-диаграмме, в которой примерно 3/4 звезд -объекты типа β Сер. Эта полоса совпадает с областью, которую в ходе эволюции звезда пересекает трижды: во время горения водорода в ядре, во время фазы сжатия и,

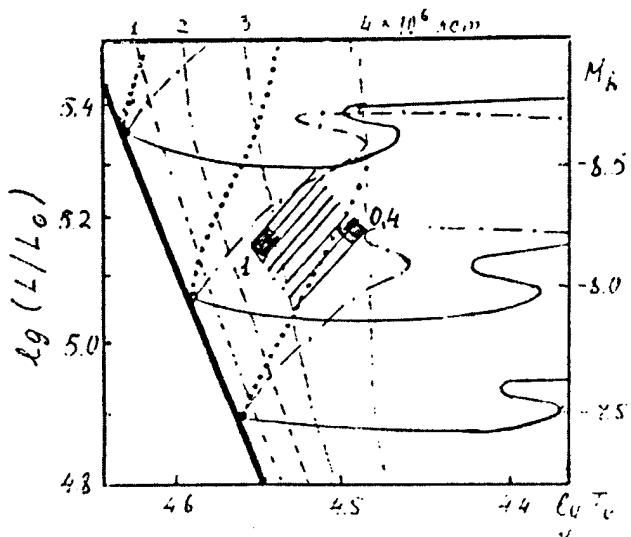


Рис. 3.2.4 Область решений для CC Cas

наконец, на стадии горения водорода в слоевом источнике. Предполагается, что неустойчивость типа β Сер наступает непосредственно перед первым поворотом эволюционного трека (Shobbrook 1978). У звезды отсутствует избыток светимости, однако, она - покрасневшая для своей массы (согласно Свечникову и др. (1984), Свечникову (1985) звезда должна иметь спектральный класс O7.5) и имеет избыток радиуса

примерно в $4R_{\odot}$. Видимо, это связано с потерей вещества одним из компонентов, или системой в целом.

Первое решение соответствует модели системы, где массивный компонент заполняет свою ВКП. Второй компонент не заполняет свою ВКП и по своим параметрам вполне соответствует звезде главной последовательности класса O9-O9.5. Можно предположить, что в системе началась перемена ролей - главный компонент теряет свою массу - и этот процесс хорошо подтверждается неустойчивостью кривой блеска и значительными изменениями периода обращения системы в период предшествовавший наблюдениям CC Cas 1980-1983гг., (Полушкина 1985).

Во втором решении ($k=1$) менее массивный компонент заполняет свою ВКП и имеет избыток светимости около 1^m и избыток радиуса в $3.5R_{\odot}$, но его трудно локализовать в пространстве $T_{\text{eff}} - M_{\text{bol}}$ – масса (рис. 3.2.4). Радиус более массивного компонента вполне соответствует звезде главной последовательности. Однако, он имеет недостаток светимости в $\approx 1^m$ и значительное покраснение на $1 \div 2$ спектральных класса.

Из анализа вытекает, что первое решение является более реальным, а также, как указывалось выше, более соответствует наблюдениям. Однако в этом случае спектру главного компонента более соответствует O9-O9.5.

Таблица 3.2.4 Абсолютные характеристики CC Cas

	A/R $_{\odot}$	R $_1$ /R $_{\odot}$	R $_2$ /R $_{\odot}$	M $_1$ /M $_{\odot}$	M $_2$ /M $_{\odot}$	SP $_2$
B ($k=1$)	32.47	10.34	10.34	27.25	13.35	O9-B0.5
Для зв. ГП		10.42	6.60			
V ($k=1$)	32.12	9.89	9.89	26.41	12.90	O9 - B0
Для зв. ГП		10.22	6.66			
B ($k=0.4$)	31.28	13.37	5.37	24.35	11.93	B0.8-B1.8
Для зв. ГП	9.70	9.70	6.14			
V ($k=0.4$)	31.12	12.90	5.16	23.99	11.76	B0.5- B1.5
Для зв. ГП	9.61	6.00				

Таблица 3.2.4

(продолжение)

	LG T _{EFF} 2	M ^b _{bol}	M ^c _{bol}
B ($k=1$) Для зв. ГП	4.500-4.450	(-8.21 m) - (-7.67 m) -9.23 m	(-7.70 m) - (-7.19 m) -6.28 m
V ($k=1$) Для зв. ГП	4.528-4.475	(-8.11 m) - (-7.57 m) -9.10 m	(-7.88 m) - (-7.35 m) -6.14 m
B ($k=0.4$) Для зв. ГП	4.425-4.378	(-8.77 m) - (-8.23 m) -8.77 m	(-5.52 m) - (5.04 m) -5.82 m
V ($k=0.4$) Для зв. ГП	4.443-4.393	(-8.69 m) - (-8.15 m) -8.71 m	(-5.62 m) - (-5.12 m) -5.75 m

В 1994 году появилась работа Hill G. и др. (Hill, Hilditch, Aikman, Khalesseh 1994) в которой авторы на основе рентгеновых спектров с

использованием метода томографического разделения бленд спектральных линий компонентов выделили линии обоих компонентов и определили элементы спектроскопической орбиты ($q=0.41$; $m_1 \sin^3 i = 15.3$). С этими элементами они заново проанализировали полученные ранее авторами кривые блеска (к сожалению очень бедные, рис. 3.2.1) и получили новые параметры системы. Они получили, что система является разделенной с мало преволюционировавшими компонентами ГП.

3.2.2 SZ Жирафа

3.2.2.1 Введение

SZ Cam (HD 25638, BD+61°676N, $V_{max}=6.9''$, $Sp=O9IV+B0.5V$, $P=2.698^d$) северный компонент визуально двойной $\Sigma 485=ADS985(18'')$, является затменной переменной с компонентами ранних спектральных классов. Эта система - самый яркий объект в рассеянном звездном скоплении NGC 1502, проектируемый в его центральную область. В оценках спектрального класса этой звезды имеются некоторые различия (Табл. 3.2.5), которые особенно ощутимы в оценках класса светимости (от V до II). В некоторых исследованиях есть указания на быстрое вращение звезд и наличие межзвездных линий поглощения. Последнее, однако, не всегда подтверждается.

Поразительно точная кривая блеска, основанная на 12000 фотографических наблюдениях была получена Wesselink (1941) в период 1930-1937гг. Эта кривая была многократно использована в последующих исследованиях с целью получения фотометрических орбитальных элементов. SZ Cam была классифицирована как разделенная двойная, принадлежащая к исключительным системам среди горячих звезд, где коэффициент потемнения к краю надежно определялся (Kopal, Shapley 1956). Тем не менее эти значения не соответствовали теоретическим моделям (Heintze, Grygar 1970).

Первые фотоэлектрические UBV кривые изменения блеска SZ Cam получены в наблюдениях 1970-1971гг., опубликованных Kitamura, Yamasaki (1972). Первый анализ этой кривой блеска разными методами выполнил Budding (1973, 1974, 1977). У него возникли проблемы определения коэффициентов потемнения к краю диска и определения орбитальных элементов (r_1 , r_2 , i). Кроме того на основе абсорбционных линий K Ca II и избытка цвета он обнаружил локальную поглощающую материю около SZ Жирафа с плотностью $2M_\odot/\text{pc}^3$ (Budding 1975). Эта оценка отличается от соответствующего значения для всего скопления NGC 1502 и, тем более, от соответствующего значения окружающего звездного фона (Budding 1975). Список всех имеющихся на настоящий момент фотометрических наблюдений ZS Cam приведен в таблице 3.2.6 и иллюстрируется на рис. 3.2.7 - 3.2.11. Всестороннее фотометрическое и спектроскопическое исследование выполнил Chochol (1980). Анализируя кривые блеска за сезоны 1930-1937, 1971-1972, 1972-1975гг, он обнаружил, что наблюдаемый радиус второго компонента увеличился за 40 лет примерно на четверть и звезда заполнила свою внутреннюю полость Роша. Однако, соответствующего увеличения яркости на 0.13m не последовало. В то же время, базируясь на своих спектральных исследованиях Chochol (1980) показал, что в системе имеются газовые потоки, которые

поглощают излучение и сильно влияют на получаемые физические параметры. Система потоков, полученная из спектроскопии и приведенная в его работе, в значительной степени совпадает с газодинамическими моделями звездного ветра во взаимодействующих двойных, предложенными в ряде работ Бисикало и др. (1997а, 1997б, 1998). Mardirosian и др. (1980) анализируя кривую блеска за сезон 1971-1972гг. также обнаружили, что второй компонент заполняет свою полость Роша. Таким образом, значительный избыток светимости второго компонента (который в 6 раз ярче, чем звезда ГП с такой же массой) нашел свое объяснение. Из этого следовало, что SZ Cam уже претерпела первую fazу переноса вещества, роли компонентов поменялись и второй компонент

Таблица 3.2.5 Оценки спектрального класса SZ Cam

SP	АВТОР
O9.5	Gutnick P., Prager R. (1930)
B0nk	Plaskett J.S., Pearce J.A. (1933)
B1	Zug R.S. (1933)
B0	Stebbins I., et all (1940)
(O9-O9.5)+B0	Wesselink A.J. (1941)
B0nk	Neubauer F.J. (1943)
B1	Sanford R.F.(1949)
B0	Wallenquist A. (1954)
B0	Beals C.J., Oke J.B. (1954)
B0 II-III	Munch G. (1957)
B0 II-III	Hoppmann J. (1958)
B0n	Домбровский В.А., Гаген-Торн В.А. (1964)
O9 V	Murphy R.E. (1969)
O9.5+[B2]	Budding E. (1975)
BI III	Harris G. (1976)
B0 III	Martin P.G., Campbell B. (1976)
O9.5 V+B0	Chochol D. (1980)
B0 III	Abt H.A. (1981)
O9.5+[B0]	Harries T.J. et al. (1998)
O9IV+B0.5V	Lorenz R. et al. (1998)

заполняет свою полость Роша, продолжая терять вещество. Наблюдаемые изменения кривых блеска и (O-C)-диаграмма, свидетельствующая о вековом изменении периода (рис. 3.2.6) $\Delta P=5.942 \cdot 10^{-8} P$ указывают на потерю вещества. В модели консервативного переноса вещества такая скорость изменения периода дает темп потери вещества компонентом $3 \cdot 10^{-5} M_{\odot}/год$.

Таблица 3.2.6 Список фотометрии SZ Cam

МЕТОД		СЕЗОН	АВТОРЫ
Pg		1930-1937	Wesselink (1941)
Pe	UBV	1971	Полушкина Т.С. (1977)
Pe	UBV	1971-1972	Kitamura M., Jamasaki A. (1972)
Pe	F1,F2	1972-1976	Chochol D. (1980)
Pe	UBVR	1984-1985	Горда С.Ю. Полушкина Т.С. (1987)
Pe	UBVR	1988	Полушкина Т.С. (1992)
Pe	UBVR	2000	Gorda S.Ju. (2000)

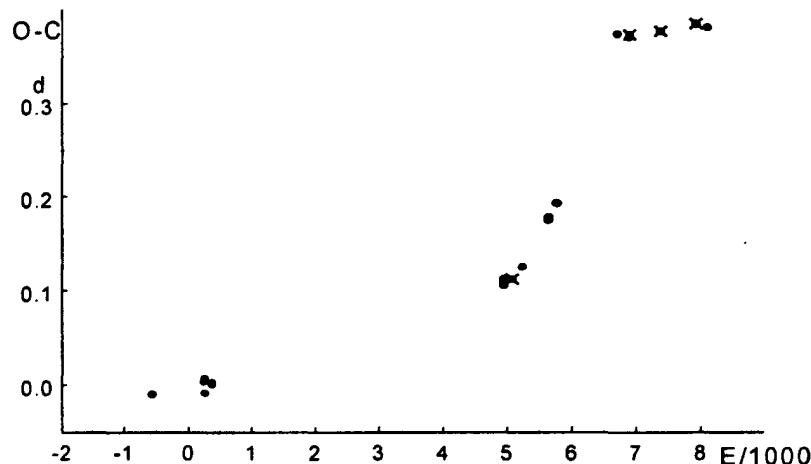


Рис. 3.2.6. Изменение периода SZ Cam

(крестиками отмечены наблюдения автора).

3.2.2.1 Эволюция кривых изменения блеска SZ Cam за 50 лет из-за изменений газовых структур в системе

Обзор имеющихся кривых блеска (рис. 3.2.7-3.2.11) обнаруживает, что 1) практически все они искажены влиянием дополнительного поглощения или излучения нефотосферного происхождения,

2) имеется тенденция к развитию некоторых депрессий кривой изменения блеска в большом масштабе времени (начиная с 1930 до 1988гг.). Наименее искаженная кривая блеска соответствует сезону 1930-1937 гг., а наиболее зашумленная кривая блеска была в 1984-1985гг.,
3) депрессии носят явный селективный характер. Среди разновидностей депрессий выделяются три группы: а) поглощение в непрерывном спектре, которое становится заметным уже в V- фильтре и усиливается в R-фильтре. Это сильное, симметричное в 1972-1976гг. относительно II минимума, поглощение в обоих максимумах и в центре II минимума значительно возрастает в 1984-1985г., теряя симметрию и появляясь в B- и U-цветах. в) Искажения кривой блеска, явно связанные с дополнительным излучением; наибольшие их значения имеют место в цветах U и V, в тех цветовых полосах, которые содержат сильные водородные линии. с) Искажения, которые не поддаются описанию, т.к., в них трудно выделить какие-либо закономерности. д) Кратковременные изменения: необычные кривые блеска наблюдались в августе-октябре 1971г. В это время амплитуда переменности уменьшилась на 0.079^m, 0.112^m, 0.073^m в UBV цветах соответственно, в то время как уровень максимального блеска остался приблизительно неизменным. Это уменьшение соответствует добавке третьего блеска в 0.24, 0.35, 0.23 в UBV, выраженной в единицах полной светимости системы, $L_1+L_2+L_{обол.}$. На некоторых кривых блеска видны увеличения яркости на восходящей ветви главного минимума (фазе $f = 0.22$), (наибольшее в U-цвете и в 2-3 раза меньшее в B и V цветах), особенно заметные на кривых блеска, полученными Kitamura, Jamasaki (1972). Этот эффект также присутствует на кривых за 1930-1937г. В другие наблюдательные сезоны он, видимо, забивается другими, более сильными эффектами. Это явление может быть связано с горячим пятном, созданным переносом вещества от второго компонента. С другой стороны, заметное поглощение в максимумах, появившееся в 1972-1974г. на кривой блеска, полученной Chochol (1981), в последующие 14 лет значительно возросло, достигая своего максимального поглощения в R-цвете. С точки зрения упомянутых выше нестационарностей взаимное сравнение кривых блеска сложно, т.к. измерения яркостей нормализованы к максимальному блеску каждой рассматриваемой кривой. Кривые блеска, нормализованные к одному и тому же максимальному блеску, показывают тенденцию к увеличению глубины второго минимума, начиная с 1972г.

Изменения средней яркости системы (таблица 3.2.7), скорее всего, связаны с изменением вклада оболочки в полный блеск системы. Сложные кратковременные изменения цвета, вероятно, вызваны влиянием сильных эмиссионных линий. Это похоже на результаты многоцветной фотометрии похожих объектов - серпентидов, полученных Young, Snyder (1982). Они обнаружили для этих звезд доказательство присутствия нескольких

Таблица 3.2.7 Изменения максимальной яркости SZ Cam

СЕЗОН	U	B	V	R	АВТОР
1930-1937		-0.07 ^m			Wesselink
1971	-0.055 ^m	-0.03	-0.003 ^m		Полушкина
1971-1972	-0.115	+0.05	-0.012		Kitamura, Jamasaki
1972-1974		F1(-0.035)	F2(-0.008)		Chochol
1984-1985	-0.010	-0.038	-0.035	-0.045 ^m	Полушкина, Горда
1988	-0.060	-0.042	-0.005	+0.025	Полушкина

областей в окрестностях системы с различными температурными режимами в газе.

Изменения кривых блеска происходят на фоне векового изменения периода. Не исключено, эти события связаны между собой.

Mayer (1990) объясняет (O-C)-диаграмму присутствием в системе третьего тела. Однако, анализ диаграммы указал на то, что это должен быть объект сравнимый по массе с SZ Cam, который должен вносить значительный вклад в кривые блеска, показывающие почти полное касательное затмение. Ранее выполненные решения, а также наш анализ не дает столь большого вклада третьего блеска. Поэтому автором эта гипотеза в дальнейшем не рассматривалась.

3.2.2.1 Оценка параметров газовых структур в системе SZ Жирафа в модели анизотропного звездного ветра

Для анализа описанных изменений кривых блеска SZ Cam была использована новая модель, предложенная Пустыльником И.Б. (Pustylnik 1994), позволяющая определить влияние анизотропии звездного ветра на кривые блеска затменных двойных. Анизотропия звездного ветра связана с периодическими изменениями гравитационного взаимодействия, вызывая смещение звуковой точки. Поскольку плотность вещества экспоненциально возрастает с глубиной хромосферы, даже небольшое смещение звуковой точки может привести к значительному изменению потока вещества $J = \rho_s v_s r_s^2$ при рассмотрении ее под углом к линии, соединяющей центры компонентов. Здесь v_s -скорость звука,

Влияние анизотропии звездного ветра на кривые блеска затменной переменной SZ Cam оценивалось при следующих предположениях:

- 1) оба компонента излучают как черные тела, окруженные общей несферической рассеивающей оболочкой, образованной радиально расширяющимся звездным ветром от одного из компонентов,

- 2) непрозрачность вызвана рассеянием на свободных электронах, и только это принято во внимание,
- 3) оба компонента рассматриваются как точечные источники при расчете оптической глубины вдоль линии зрения. В дополнение к обычному рассмотрению затмений с принятым коэффициентом потемнением к краю и эффектом эллиптичности добавился "третий блеск" - принята во внимание светимость оболочки.

Модель влияния звездного ветра на кривую блеска учитывает влияние следующих факторов: а) дополнительное экранирование излучения обоих компонентов, что увеличивает глубину обоих минимумов, особенно во время затмения компонента, на который происходит акреция, б) искажение кривой блеска во время минимума и увеличение ширины минимума, в) уменьшение амплитуды затмения из-за вклада светимости оболочки.

Таким образом, влияние анизотропии звездного ветра углубляет и уширяет минимум, искажает как нисходящую, так и восходящую ветви минимумов, форма кривой блеска меняется со временем. Количественно влияние звездного ветра в модели определяется тремя параметрами: а) оптической толщины газа τ , б) радиусом акреции R_{accr} , в) третьим блеском, т.е. светимостью оболочки L_{env} .

$SZ\ Cam$ вполне может быть источником информации по \dot{M} , основанной на аномалиях кривой блеска, а именно, а) оба ее компонента являются звездами раннего спектрального класса, близкого к B0, у которых предыдущие исследователи нашли доказательства значительного звездного ветра, б) зарегистрированы значительные изменения как формы, так и глубин минимумов, с) все свидетельствует о том, что радиусы компонентов меньше радиусов акреции. В качестве начальных элементов нами были взяты элементы из каталога ТДС Свечникова М.А.(1986) ($r_1=0.395$, $r_2=0.235$, $i=71^\circ 1$, $q=0.25$ $M_1=20.4M_\odot$, $Sp=O9.5+[B1:J]$) и оценены максимальные оптические глубины поглощающего вещества вдоль линии зрения в моменты максимального соединения компонентов. От оптической глубины можно перейти к скорости потери вещества \dot{M} , используя соотношение из (Pustylnik 1994).

$$\dot{M}=10\pi\mu v_0 \frac{\tau_2(\Phi-\pi)a\cos i}{arctg\frac{R_a^2-a^2\cos^2 i}{a\cos i}+arctg\frac{a\sin i-r_2}{a\cos i}} \quad (1)$$

Здесь с левой стороны \dot{M} - потеря вещества в единицах 10^{18} g/sec , с правой стороны μ - молекулярный вес, v_0 - скорость газа в звуковой точке хромосферы звезды, теряющей вещество, R_{accr} - радиус акреции, r_2 - радиус компонента, акрецирующего вещество. Для скорости потери вещества, превышающей некоторое минимальное значение (зависящие от абсолютных параметров двойной, и скорости потери вещества $\dot{M}=10^{-9}-10^{-7}$

$M_{\odot/\text{год}}$), последующее увеличение \dot{M} дает резкое изменение отношения глубин минимумов. Поэтому это есть верхний предел допустимых значений \dot{M} . Таким образом, сравнение модельных кривых блеска с наблюдаемыми позволяет определить, по крайней мере, верхний предел скорости потери вещества.

Для данного набора орбитальных элементов и физических параметров двойной (Свечников М. А., 1986) с помощью программы Pustylnik I.B. (1994) нами были проанализированы возможные случаи потери вещества либо главным, либо вторичным компонентом. Проверка всех имеющихся из наблюдений кривых блеска SZ Cam показала, что глубина главного минимума показывает некоторые изменения со временем порядка 0.01-0.03 в шкале интенсивности, для второго минимума эти изменения несколько больше. Попытки решить кривые блеска в предположении потери вещества из главного компонента не дает удовлетворительных результатов. Если предположить, что второй компонент теряет вещество, то достигается много лучшее согласие между модельными и наблюдаемыми кривыми изменения блеска. Значение оптической глубины $\tau_2(\Phi = \pi)$, полученное по кривым блеска порядка $\tau_2 = 0.1$, что соответствует $\dot{M} = \pm 5 \cdot 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$. Эта оценка усреднена по многим годам. Неопределенность в последней величине \dot{M} связана как с ограниченной точностью определения τ_2 , так и μ , v_0 . Если, например, предположить, что потеря вещества с главного компонента $\dot{M} = 5 \cdot 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$, то результирующая оптическая глубина газа вдоль луча зрения в фазе 0.5 будет столь высока, что II минимум станет глубже, чем I минимум. В то же время, величина разности глубин минимумов зависит от светимости оболочки. Рассматривая определенные из наблюдений различия в глубинах минимумов, получаем, что светимость оболочки в видимом диапазоне не превышает 0.02-0.05 полного блеска системы. Однако, из наблюдений имеем, что L_{env} увеличивается спорадически: во время наблюдений 1971г. глубины обоих минимумов были меньше, чем обычно, примерно на 0.07-0.08 единиц относительной интенсивности. Анализ этих кривых блеска с элементами орбиты, взятыми из каталога Свечникова (1986), дают удовлетворительный результат только при предположении $L_{env} = 0.25-0.30$ и \dot{M} приблизительно в 3.5 раза больше уже приведенной выше оценки, но в предположении потери вещества главным компонентом. Тем не менее, в этом случае форма и глубина II минимума недостаточно хорошо совпадают с наблюдаемыми кривыми. В случае с SZ Cam, расчеты доказывают, что потеря вещества связана со звездой большего радиуса. Неопределенность в определении \dot{M} явно связана в основном со значениями звуковой скорости, которая известна плохо (выше приведенная оценка \dot{M} основанная на температуре хромосферы $T \approx 10^5 K$). Независимые оценки \dot{M} могут быть найдены из измерений радиопотока в H II областях.

Наиболее вероятные значения параметров модели SZ Cam приведены ниже в таблице 3.2.8. Орбитальные элементы i , r_1 , r_2 взяты из каталога Свечникова М.А., (1986), эффективные температуры T_1 , T_2 , предполагается, соответствуют их спектральным классам, взятым из этого же каталога. Форма компонентов соответствует трехосному эллипсоиду со значениями больших полуосей наилучшим образом аппроксимированным внутренней поверхностью Роша, $l_i = \sqrt{(a_i^2 - b_i^2)/b_i^2}$, $l_{i2} = \sqrt{(c_i^2 - b_i^2)/b_i^2}$, где i соответствует номеру компонента, b_i - малая полуось, a_i - наибольшая полуось. Параметры i , r_1 , r_2 , T_1 , T_2 , сохранились неизменными, а оставшиеся найдены подгонкой модели к наблюдаемым кривым блеска.

Таблица 3.2.8 Элементы орбиты SZ Cam и параметры окружающего газа.

$I = 71.7^\circ$	$R_1 = 9.48 R_\Theta$	$R_2 = 5.64 R_\Theta$	$L_{TNE} = 0.02 - 0.05$
$\dot{M} = I \div 5 \cdot 10^7 M_\odot/\text{год}$	$T_1 = 2.8 \cdot 10^4 K$	$T_2 = 2.65 \cdot 10^4 K$	$R_{accr} = 23.2 R_\Theta$
	$u_1 = 0.5$	$u_2 = 0.5$	$\tau_2(\Phi = \pi) = 0.1$
	$e_{11} = 0.14$	$e_{21} = 0.16$	
	$e_{12} = 0.02$	$e_{22} = 0.02$	

Анализ этой системы выполнен автором совместно с И.Б. Пустыльником (Polushina T.S., Pustylnik I.B., 1994).

В последнее время появился ряд работ: Harries T.J. et. all (1998), Lorenz R. et.all (1998), Mayer P. et al. (1994), в которых с помощью CCD-спектроскопии смогли измерить линии второго компонента, а также было обнаружено присутствие спектральных линий третьего источника. Присутствие третьего компонента с разделением 0.07" было независимо открыто посредством спеклинтерферометрии Mason (1994, 1998). Вклад его в суммарный блеск разными авторами оценивался от 20% до 40%. Влияние третьего компонента в блендах спектральных линий заметно при построении кривых лучевых скоростей и, следовательно, сказывается на спектроптическом определении отношения масс $q = M_2/M_1$. Chochol (1980) по данным своих спектроскопических наблюдений получил $q = 0.25$, Budding (1975) определил функцию масс $f(M) = 0.38$, что ведет к $q = 0.33$ (Mardirojan et all. 1980). В последних исследованиях, учитывающих третий компонент, значения отношения масс $q = 0.690$ (Lorenz R. et all. 1998) и $q = 0.871$ (Harries et all. 1998). Различия в отношениях масс откровенно критические. Эти новые данные заметно сказались на модели системы. Согласно этим работам SZ Cam снова становится разделенной системой с массами $(15.26+10.74)M_\odot$ (Lorenz et all. 1998), или $(18.5+16.1)M_\odot$ (Harries et all. 1998). Эти новые результаты ничуть не умаляют интереса к рассмотренным выше особенностям системы и только подчеркивают существующую проблему. Ниже иллюстрируется эволюция кривых блеска системы с 1930-1937гг по 1983-1985гг.

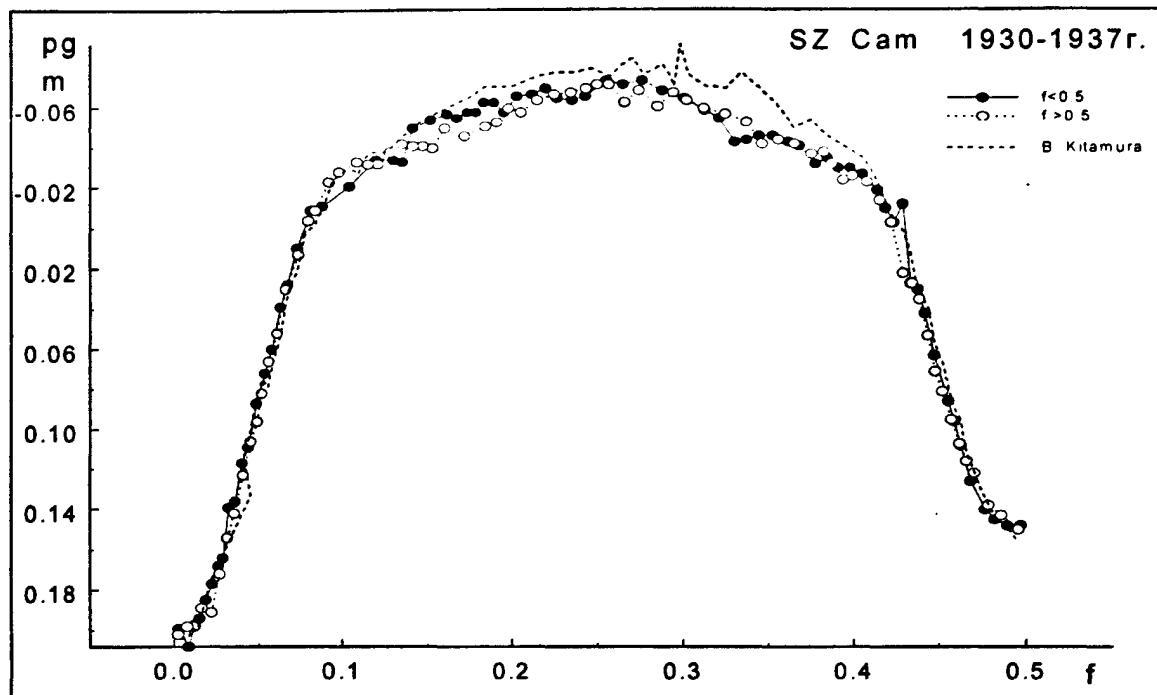


Рис. 3.2.7. Сравнение кривых блеска SZ Cam полученных Весселинком в 1930-1937г. (заштрихованные и пустые кружки) и Китамурой в 1971-1972г. (штриховая линия)

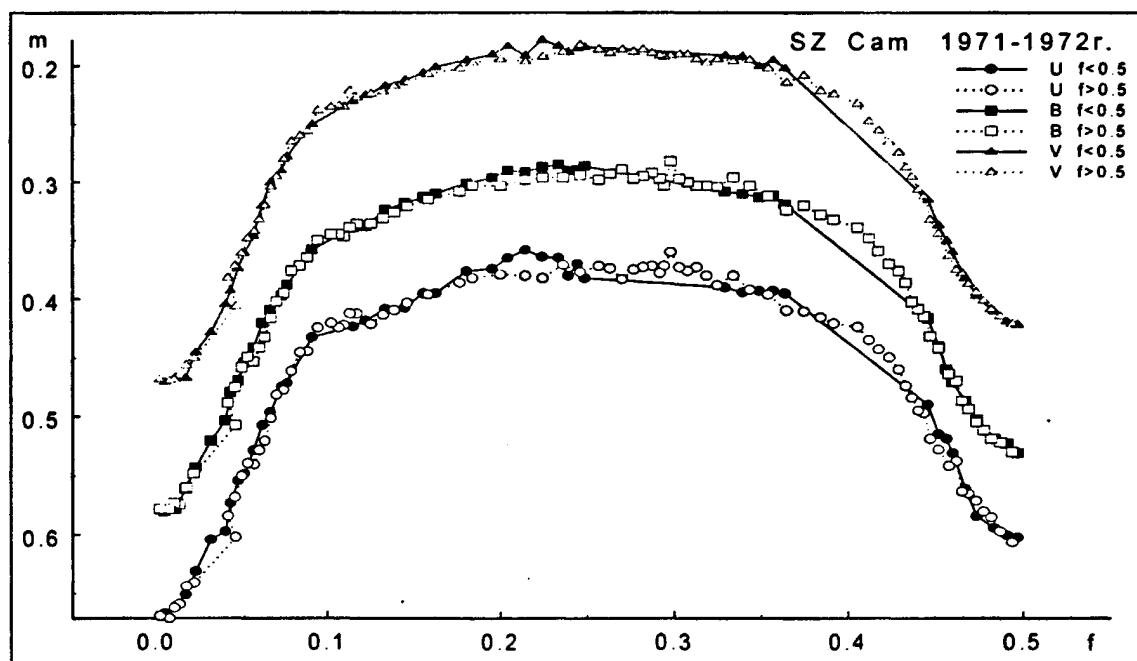


Рис. 3.2.8. UBV кривые изменения блеска SZ Cam полученные Китамурой в 1971-1972г.

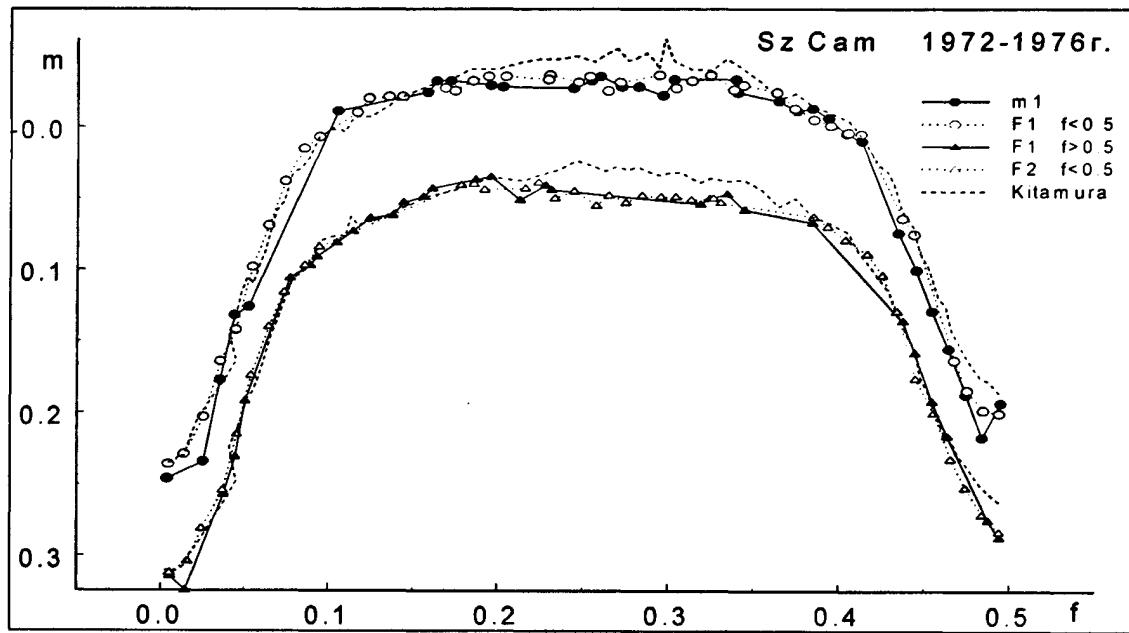


Рис. 3.2.9 Сравнение кривых блеска SZ Cam, полученных Хохолом в 1972-1976г. и Китамурой в 1971-1972г. (штриховая линия).

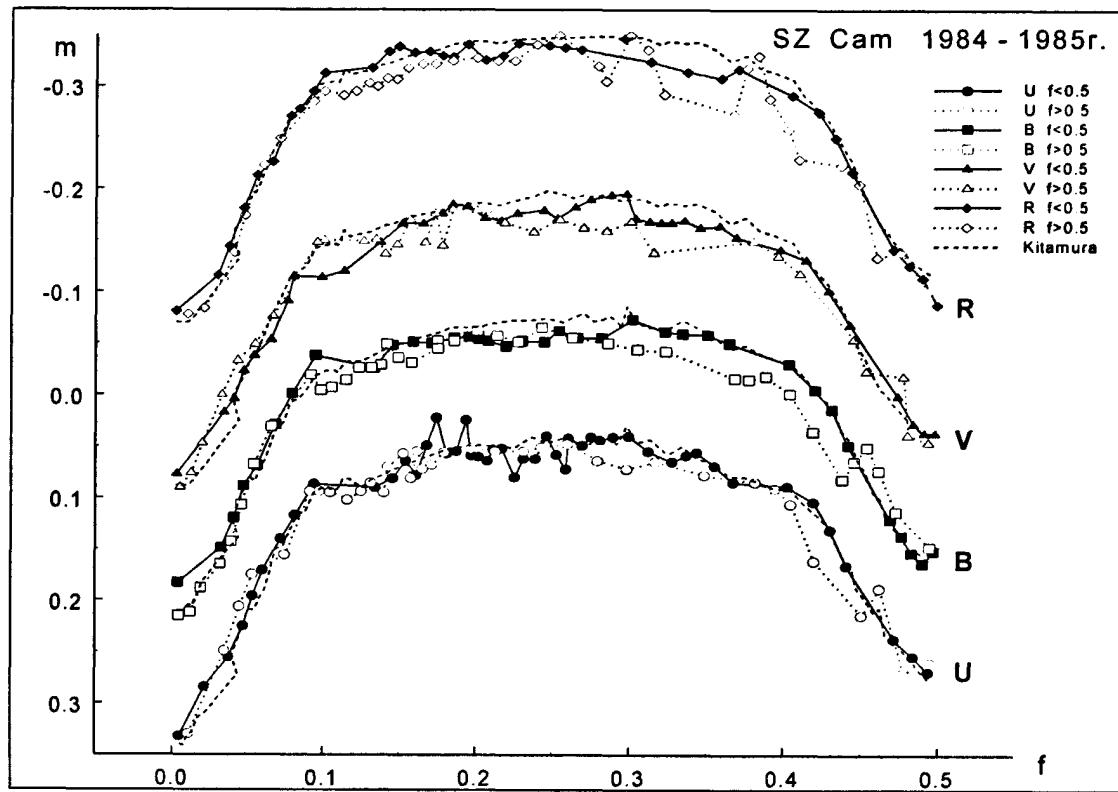


Рис. 3.2.10 Сравнение кривых блеска SZ Cam, полученных автором в 1984-1985г. и Китамурой в 1971-1972г. (штриховая линия).

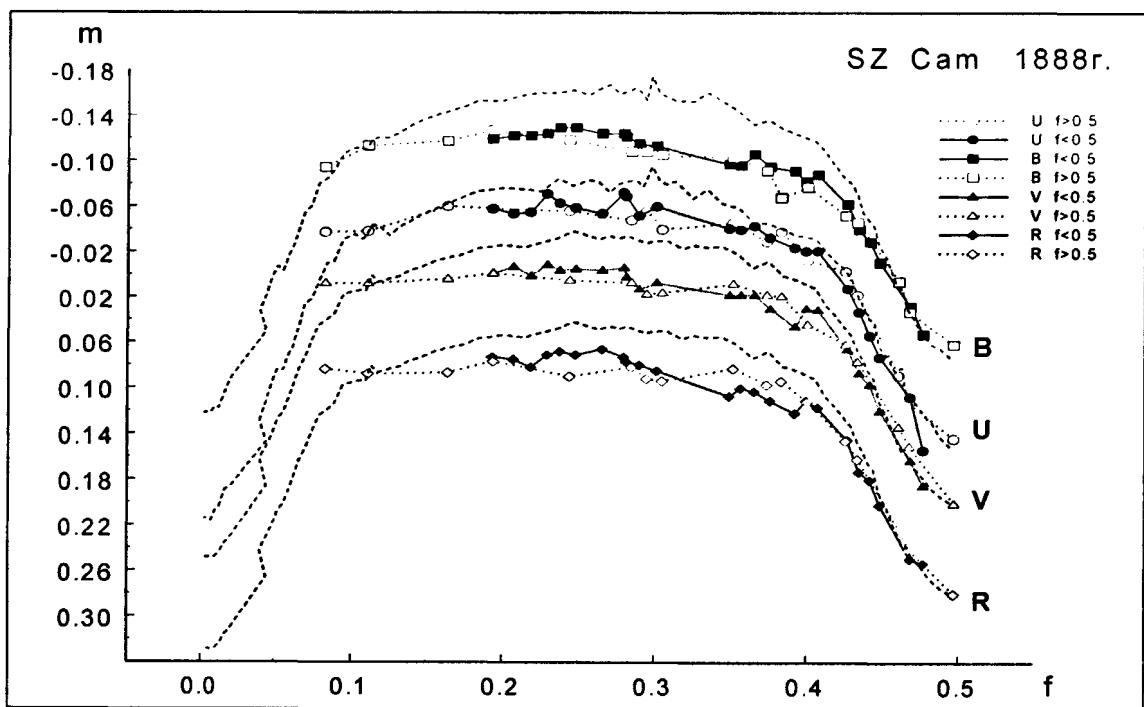


Рис. 3.2.11 Сравнение кривых изменения блеска SZ Cam, полученных автором в 1988г. (отмечено значками) и Китамурой в 1971-1972г. (штриховая линия)

3.2.3 UU Кассиопеи

3.2.3.1 Введение

До начала выполнения автором наблюдательной программы UU Cas в публикациях отсутсвовали данные о фотоэлектрической фотометрии этой звезды. Фотографические кривые блеска публиковались достаточно регулярно и относительно много, автору известно 10 таких источников. Очень удивительно, но среди этих кривых блеска нет двух, похожих друг на друга. Различны разности высот максимумов, чрезвычайно велики изменения глубин минимумов, как главного, так и вторичного. Особенно велики изменения вторичного минимума (табл. 3.2.9, рис. 3.2.12). Различия достигают 0.3^m (при максимальной глубине II минимума 0.42^m), что вряд ли можно считать ошибками фотографических наблюдений. Спектральные наблюдения этой звезды очень малочисленны. Кривая лучевых скоростей публиковалась только в 1934г. (Cannon, 1934), а последние оценки спектрального класса B0,5 III сделаны в 1972г. (Martin, 1972).

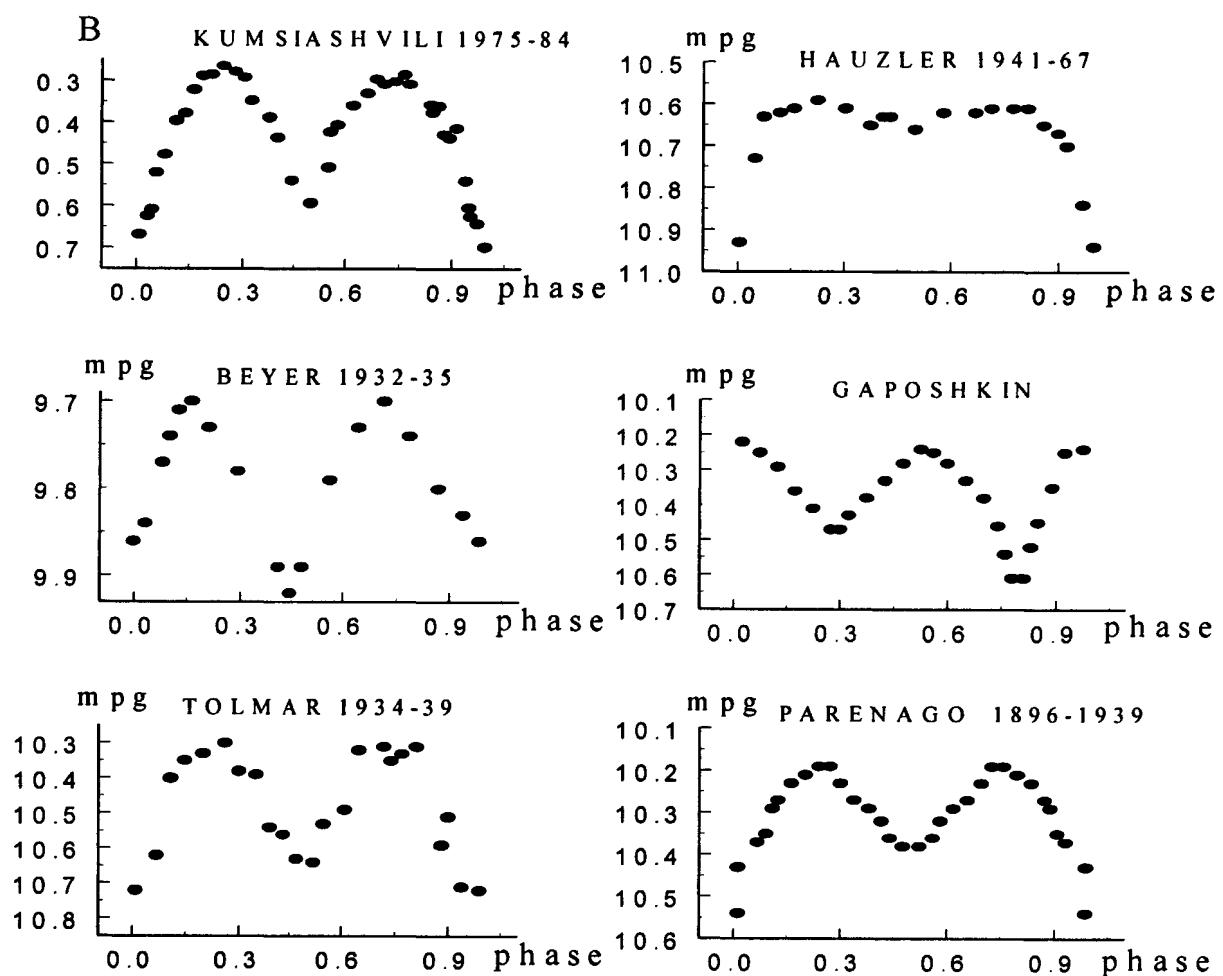


Рис. 3.2.12 Наблюдения UU Cas в различные эпохи.

Таблица 3. 2.9 Изменения кривой блеска UU Cas

АВТОР	СЕЗОН	N		Δ_{MAX}	$\Delta_{I MIN}$	$\Delta_{II MIN}$	ПРИМЕЧ.	ССЫЛКА
Beyer	1932--1935	120	pg	0.00 ^m	0.22 ^m	0.16 ^m	амплит. мен. в течен. набл.	Beyer 1936
Селиванов С.М.	1934	63	viz					Селиванов 1934
Паренаго П.П., Кукаркин Б.В.	1896-1939	396	pg--vis	0.00	0.35	0.20		Паренаго 1940
Tolmar	1934-1939	118	pg	0.00	0.44	0.42	очень больш. разброс	Tolmar 1940
Гапошкин С.		1334	pg-vis	0.02	0.40	0.26		Gaposchkin 1952
Zonn W.	1955-1957	130	pg					Zonn 1959
Semeniuk J., Romano G.	1942	163	pg	0.00	0.3	0.2		Romano 1959
Haussler K.	1941-1967	499	pg	0.05	0.39	0.11		Haussler 1970
Кумсиашвили М.И.	1975-1984	850	pe U	0.01	0.45	0.32		Антохина 1992
			B	0.02	0.43	0.31		
			V	0.00	0.44	0.32		
Полушкина Т.С.	1984-1989	190	pe U	0.00	0.48	0.32		Полушкина 1999
			B	0.01	0.43	0.33		
			V	0.03	0.45	0.35		
			R	0.02	0.45	0.35		

3.2.3.2 Определение относительных элементов орбиты

Полученная автором кривая изменения блеска UU Cas использовалась для определения физических и геометрических характеристик системы. Относительные элементы орбиты системы были определены с помощью программы Лаврова методом дифференциальных поправок в модели Расселла-Мерилла (в модели подобных трехосных эллипсоидов) с применением процедуры ректификации. В качестве начальных элементов были использованы соответствующие значения из каталога М.А. Свечникова (1969). Решение при использовании полученной автором кривой блеска отсутствовало. Поэтому пришлось построить некоторую "сглаженную кривую блеска", учитывающую все имеющиеся фотоэлектрические наблюдения (Антохина 1992, Полушкина 1999) с соответствующими весами и вводя некоторые предположения, следующие

из геометрии модели: минимумы должны быть симметричными, на ветвях не должно быть депрессий, максимумы должны быть гладкими. Точкам созданной таким образом кривой блеска, были даны соответствующие веса. Результат решения такой кривой блеска иллюстрируется на рис. 3.2.13 и приведен в таблице 3.2.10, где k - отношение средних радиусов компонентов, R_2 - относительный радиус второго компонента, x - коэффициент потемнения к краю, L_1 - относительная светимость второго компонента, i - наклонение орбиты системы.

Таблица 3.2.10 Фотометрические элементы системы UU Cas

	K	R2	I	X	L1
U	0.730 ±0.104	0.382 ±0.035	65.4° ±0.3°	1	0.787 ±0.081
B(1)	0.770 .049	0.403 .015	62.8 .3	1	0.747 .026
B(2)	0.568 .202	0.344 .060	64.7 .3	1	0.857 .109
V	0.519 .018	0.291 .007	68.9 .4	0.9	0.835 .091
R	0.559 .040	0.327 .010	67.7 .2	1	0.837 .024

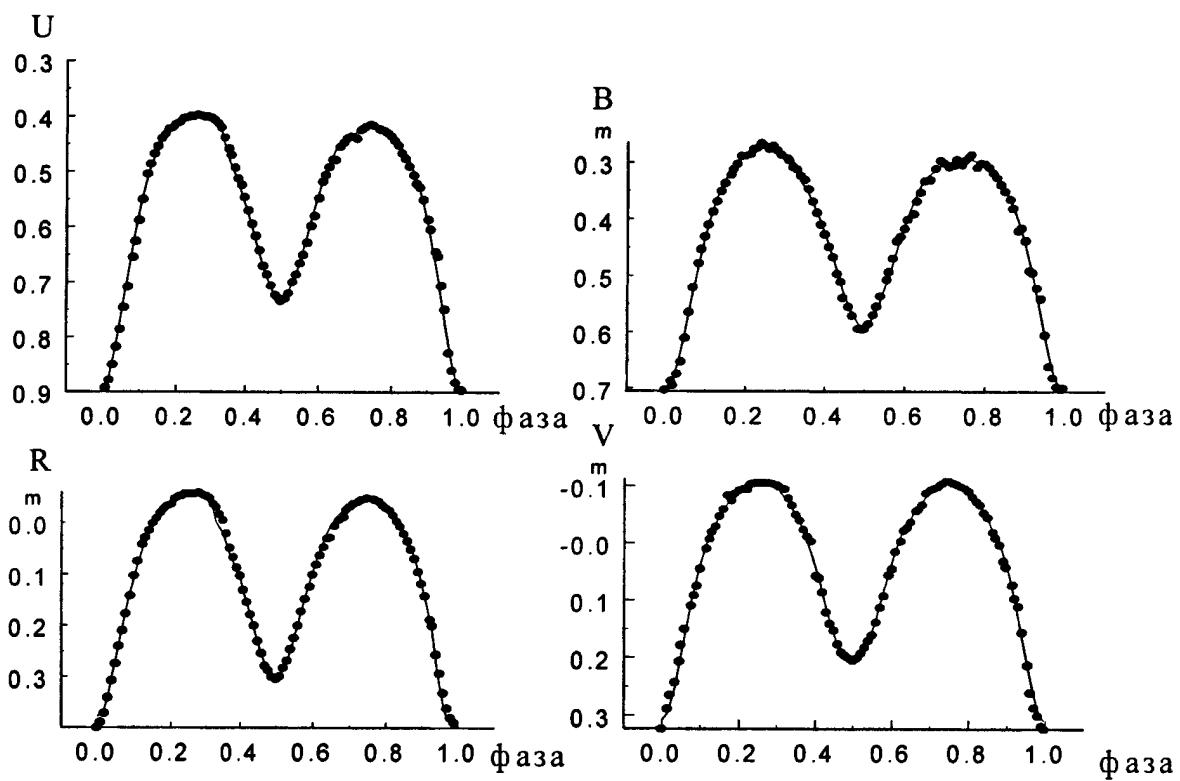


Рис.3.2.13 Сравнение теоретических кривых блеска с наблюдениями

Кривая в В-цвете дала два равноценных по сходимости решения, отмеченные в таблице как В(1) и В(2). Обращает на себя внимание очень большое значение коэффициента потемнения к краю. Использование меньших значений x давало либо намного худшую сходимость решения, либо отсутствие решения.

3.2.3.3 *Определение абсолютных элементов орбиты*

Абсолютные параметры системы получены методом, описанным Свечниковым [1969], использующим эмпирическую зависимость "масса-светимость" для звезд ГП компонентов ТДС (Горда С.Ю., Свечников М.А., 1999), поскольку в спектрах видны только линии главного компонента и отношение масс компонентов непосредственно из спектроскопических наблюдений не известно. Для определения массы главного компонента использовалось значение функции масс $f(m)=3.693M\odot$, определенное (Sanford R.F., 1934.) из наблюдений кривой лучевых скоростей .

$$A(R\odot) = 68.97 \pm 0.70 \quad R1(R\odot) = 38.5 \pm 3.1 \quad M1(M\odot) = 34.5 \pm 1.5 \\ q = 0.75 \pm 0.3 \quad R2(R\odot) = 24.0 \pm 3.7 \quad M2(M\odot) = 25.7 \pm 0.6.$$

Среднеквадратичные ошибки, указанные здесь, показывают степень различия от цвета к цвету используемых фотоэлектрических кривых блеска.

Формальное решение сглаженных кривых блеска UU Cas привело к следующим результатам. 1) Конфигурация системы оказалась сверхконтактной, где главный компонент переполняет свою внутреннюю критическую поверхность (ВКП) примерно на 38%, достигая поверхности, содержащей вторую точку Лагранжа L_2 , а второй заполняет, или почти заполняет. Размеры второго компонента заметно зависят от спектральной полосы исследования, если в U-диапазоне второй компонент на 10% переполняет свою ВКП, то в V-диапазоне его размер соответствует 84% ВКП. Размеры главного компонента во всех цветах мало отличаются друг от друга, находясь в пределах ошибки их определения при решении. 2) Значение коэффициента потемнения к краю x очень большое, скорее соответствующее красным гигантам. Использование меньших значений x давало либо намного худшую сходимость решения, либо отсутствие решения. 3) Кривая в В-цвете дала два равноценных по сходимости решения, отмеченные в таблице как В(1) и В(2). 4) Значение наклона орбиты системы к картинной плоскости различно для разных спектральных интервалов, и это различие много превышает 3σ .

3.2.3.4 Исследование остаточных уклонений наблюдаемой кривой изменения блеска UU Кассиопеи от модельной кривой

В связи с тем, что для определения параметров системы была использована синтезированная по двум сезонам кривая блеска, на следующем этапе были построены кривые уклонений реальных кривых блеска в соответствующих цветах для каждого сезона от полученной модельной кривой блеска. Кривые уклонений для сезонов 1975-1984гг. и 1984-1989гг. приведены на рис. 3.2.14 и 3.2.15. Из рисунков видно, что 1) отклонения от теоретической кривой в некоторых фазах периода достигают значительных величин, например, 0.1^m в R-цвете на фазе 0.96 в сезон 1984-1989гг., или 0.08^m в В-цвете на фазе 0.56 в сезон 1975-1984гг.; 2) отклонения имеют значимый характер, они заметно превышают 2σ ;

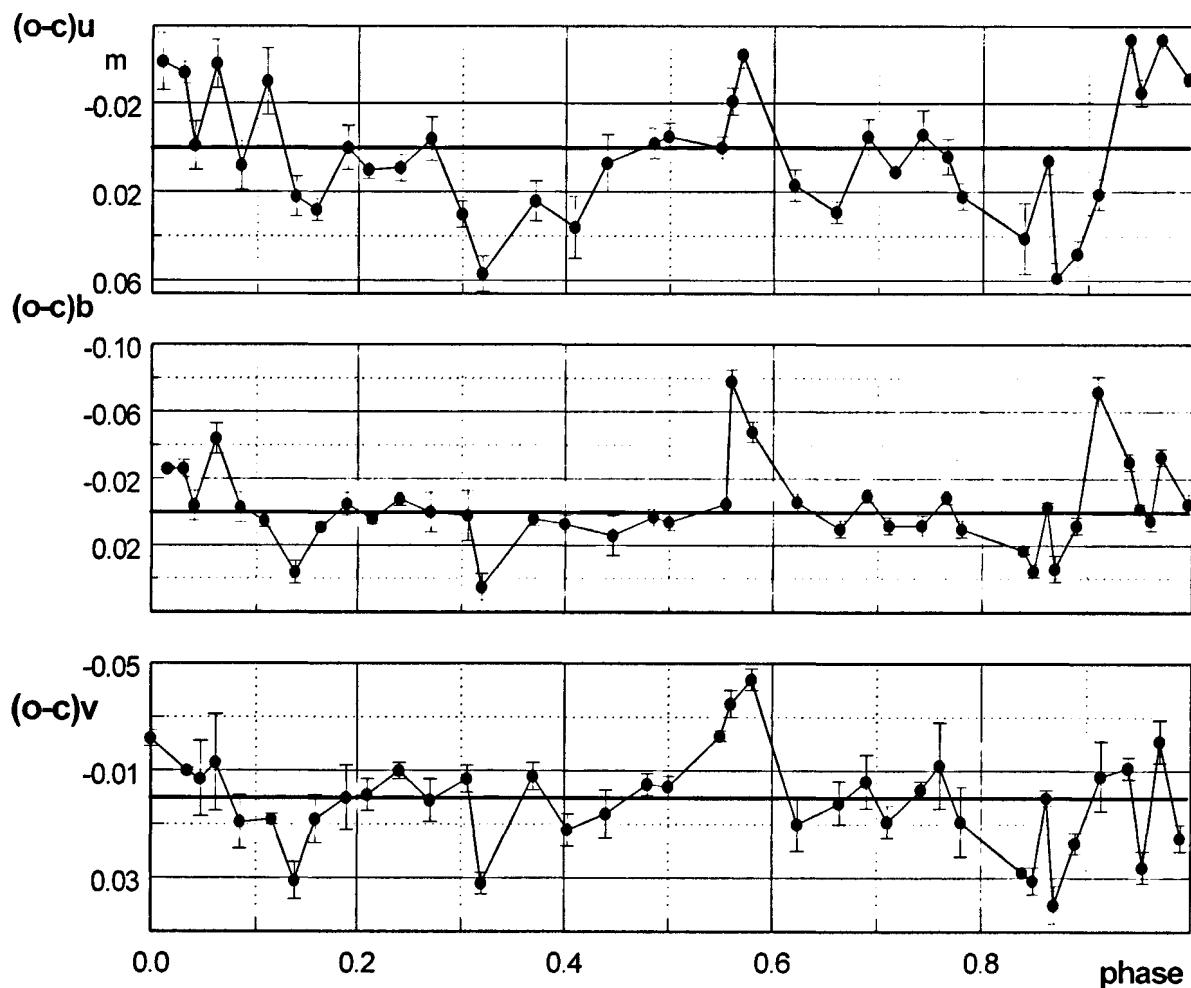


Рис.3.2.14

Уклонения наблюдений UU Cas, полученных Кумсиашвили, от модельной кривой блеска

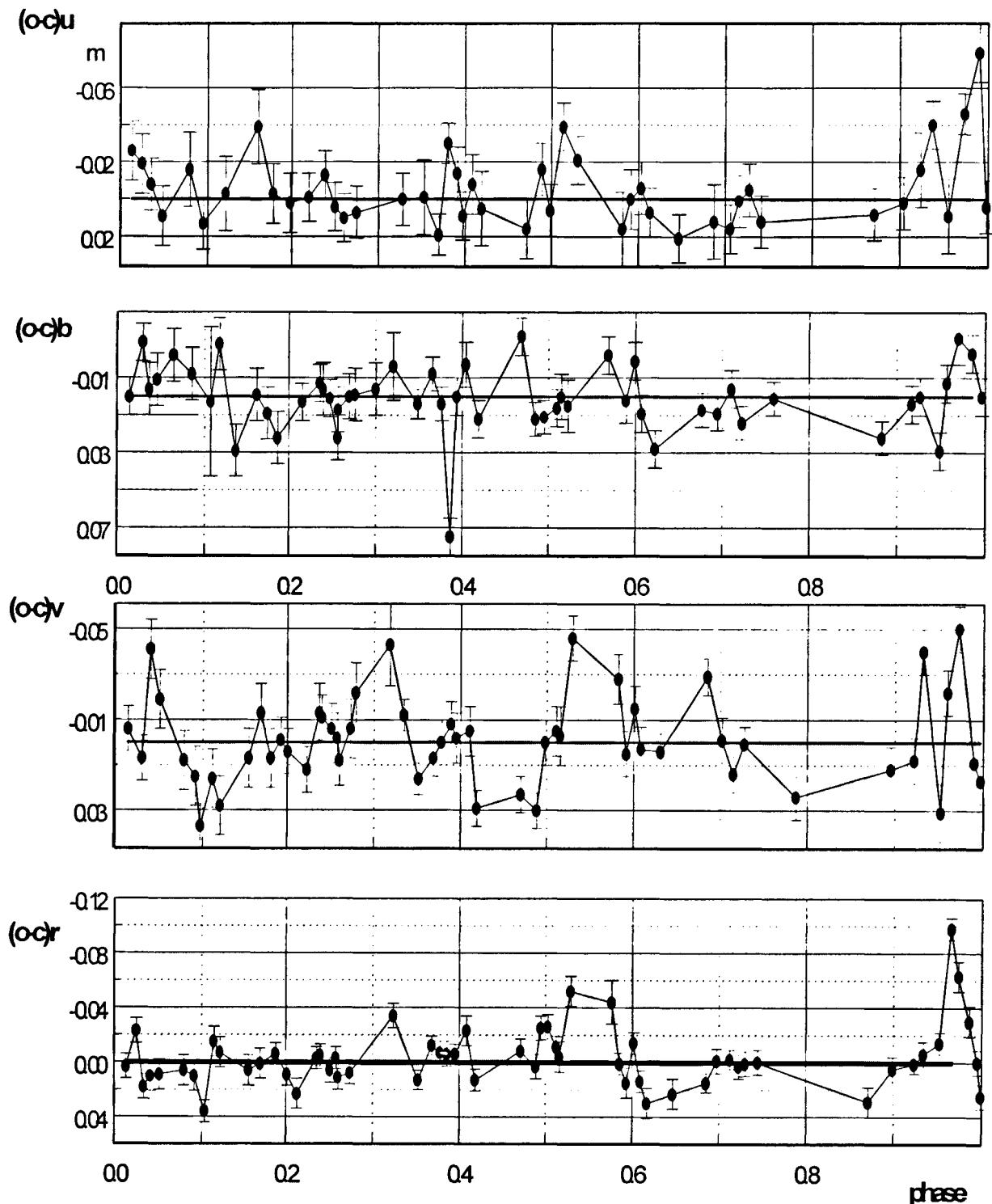


Рис. 3.2.15

Уклонения наблюдений UU Cas, полученных Полушкиной от модельной кривой блеска.

Таблица 3.2.11 Выборочные коэффициенты корреляции между кривыми уклонений для UVB наблюдений 1975-1984гг

	B	t _{Bi}	V	t _{vi}
U	0.638	5.106	0.654	5.331
B			0.799	8.185

$$t_{\text{крит}} = 2.028$$

Таблица 3.2.12 Выборочные коэффициенты корреляции между кривыми уклонений для UBVR наблюдений 1984-1989гг.

	B	t _{Bi}	V	t _{vi}	R	t _{Ri}
U	0.018	0.127	0.010	0.074	0.153	1.103
B			0.238	1.750	0.306	2.298
V					0.491	4.026

$$t_{\text{крит}} = 2.007$$

Таблица 3.2.13 Выборочные коэффициенты корреляции между кривыми уклонений для соответствующих цветов сезонов наблюдений 1975-1984 (строки) и 1984-1989гг. (столбцы)

	U	t _{крит}	B	t _{крит}	V	t _{крит}	R	t _{крит}
U	-0.073	-0.453	0.344	2.258	0.064	0.376	0.143	0.889
B	-0.092	-0.568	0.366	2.423	0.169	1.057	-0.073	-0.450
V	-0.157	-0.983	0.441	3.031	0.259	1.904	0.101	0.628

$$t_{\text{крит}} = 2.028$$

3) кривые уклонений повторяются от цвета к цвету, особенно в наблюдениях 1975-1984гг., а некоторые сохранились и в сезоне 1984-1989гг.. Степень взаимной коррелированности кривых демонстрируется в таблицах 3.2.11, 3.2.12, 3.2.13, в которых приведены выборочные коэффициенты взаимной корреляции и статистика t для проверки нулевой гипотезы по уровню значимости $\alpha=0.05=t_{\text{критическое}}$, определяющему уровень значимости коэффициента корреляции; 4) многие особенности, проявляющиеся во всех цветах и даже в обоих сезонах виды в очень узких фазовых интервалах: 0.02-0.05Р.

3.2.3.5 Модель системы. Газовые структуры в системе UU Cas и их влияние на формирование кривых блеска

Для интерпретации полученных результатов были использованы выводы модельных расчетов двойной системы, состоящей из двух эллипсоидальных компонентов, погруженных в общую полупрозрачную оболочку, полученные И.Пустыльником и Л. Эйнасто (1985, 1990). В этих работах одновременно учтены как основные эффекты взаимодействия в

ТДС и затмения, так и периодически меняющееся экранирование оболочкой, влияющие на формирование кривой изменения блеска системы. Для интерпретации использовались также результаты газодинамических модельных расчетов структуры течения вещества в полуразделенных двойных системах коллектива авторов (Бисикало Д. В., Боярчук А. А., Кузнецов О. А., Чечеткин В. М., 1997, 1998).

Присутствием околозвездного газа можно объяснить избыточное значение коэффициента потемнения к краю компонентов (Пустыльник И.Б., Эйнасто 1985, 1990). Общая оболочка должна была бы проявить себя также через вклад дополнительного блеска, L_3 (Пустыльник И.Б., Эйнасто 1985, 1990). Однако, попытка определить этот вклад и учесть его в решении не дали положительного результата. С другой стороны, большие различия угла наклона орбиты i в разных цветах, возможно, вызваны третьим блеском, разным в разных цветах. В этом случае влияние общей оболочки системы (также разное в разных цветах) требует нижней границы в U цвете для $L_3 = 0.1$ суммарного блеска системы. Учет вклада оболочки через L_3 вплоть до значений 0.1 не влияет на определяемые параметры системы, за исключением угла наклона орбиты i . Из таблицы следует, что наибольший вклад третьего блеска имеет место в U- цвете.

Очень большой вклад третьего блеска, значения потемнения к краю равные 1 во всех спектральных интервалах, характерные для холодных звезд, и отклонения от модельной кривой, достигающие в некоторых узких фазовых интервалах 0.1^m , говорят о том, что вклад газовых структур в этой системе чрезвычайно велик и сравним с вкладом компонентов системы в суммарный блеск системы.

Кажущееся переполнение первым компонентом UU Cas своей ВКП, полученное в модели системы из двух трехосных эллипсоидов, автор считает возможным объяснить с точки зрения выше цитированной модели (Бисикало Д. В. и др., 1997, 1998). Еще в работах (Sawada K., Matsuda T. 1992, Molteni D. et. all, 1991) можно было видеть, что перетекание вещества в полуразделенных системах ведет к образованию общей оболочки системы. Впервые влияние общей оболочки на морфологию течения вещества было рассмотрено в работе (Бисикало Д.В. и др. 1997). Здесь под общей оболочкой системы рассматривался газ, который заполняет пространство между компонентами системы и не вовлечен в процесс акреции. Авторами показано, что присутствие общей оболочки системы оказывает существенное воздействие на течение вещества вблизи поверхности Роша "истекающей" компоненты. В стационарном режиме на значительной части поверхности звезды донора наблюдается акреция газа общей оболочки, что препятствует течению газа вдоль поверхности Роша к т. L_1 . На иллюстрациях, приведенных в этой работе, можно проследить значительное увеличение плотности газа около звезды донора, которая зависит от рассматриваемых параметров задачи.

Следовательно, около главного компонента UU Cas, согласно этой модели, видимо, образовалось значительное скопление газа, или "кокон", размер которого совпал с размером второй критической поверхности Роша. "Кокон" является оптически плотным во всех UBVR-цветах, поскольку значения радиуса главного компонента во всех цветах хорошо совпадают между собой и с размерами второй критической поверхности.

Ситуация с переполнением компонентами своих внутренних критических поверхностей встречается в практике анализа кривых блеска. Она возникала как при использовании прямых, так и обратных методов решения. Среди массивных ТДС ранних спектральных классов на ГП, имеющихся в каталоге данной работы (раздел 1.2) можно назвать 1) SV Cen (B1V+B6III), система заполняет вторую критическую полость Роша (Wilson R.E., Starr T.C., 1976); 2) UW CMa (O7f+O8f), в УФ диапазоне фигура главного компонента сильно превышает размеры ВКП (Eaton Y.L., 1978); 3) V599 Aql (B3.5+B3.5), главный компонент на 26%, спутник на 12% превышают свои ВКП (Свечников М.А., 1986); 4) Y Cyg (BOIV+BOIV), спутник заполняет свою ВКП на 111% (Боцула Р.А., 1988); 5) V701 Sco (B1.5+B1.5), наблюдаемые размеры компонентов на 11-13% превышают размер ВКП (Wilson R.E., Leung K.C., 1977).

Полученная из спектроскопии масса главного компонента соответствует примерно звезде O7. Однако, (Martin N. 1972) оценивает UU Cas как B0.5. Видимо, в "коконе" идет переработка излучения из O7 в B0.5.

Второй компонент, вероятно, не заполняет своей ВКП, но, вследствие истечения главного компонента, имеет оболочку, заполняющую ВКП, оптическая толщина которой зависит от цвета и в У-цвете становится больше 1. Значения радиуса спутника, скорее всего, завышены вследствие вклада переменного эффекта экранирования газа общей оболочки (Пустыльник И. Б., Эйнасто Л., 1985, 1990), имеющего наибольшее значение в У-цвете, как выше было отмечено. Наиболее близкое значение видимого радиуса второго компонента к реальному, то которое получено для V-цвета.

Разность высот максимумов кривых блеска, меняющаяся от цвета к цвету, может быть связана с анизотропией газа в общей оболочке (Pustylnik I. B., 1994).

Сравнение наблюдений различных сезонов, отличающихся более чем на 200 орбитальных периодов, указывает на наличие как устойчивых, так и короткоживущих газовых структур (менее 80 периодов) в системе.

Остаточные уклонения реальных наблюдений от модельных кривых блеска двух используемых сезонов (рис.3.2.14 и рис. 3.2.15) указывают на более сложную модель газа в системе, чем просто две эллипсоидальные звезды, погруженные в газовую оболочку сферической формы, или соответствующей второй критической поверхности. Из рисунков видно наличие интенсивного "мерцания" системы, амплитуда которого зависит от спектрального диапазона. Наличие таких "мерцаний"

даже на фазах с дополнительным глубоким и длительным поглощением наводит на мысль, что они происходят во внешних для системы (две звезды в многокомпонентной оболочке) областях.

3.2.3.2 Выводы

Решение кривых изменения блеска UU Cas смогло показать только фотометрические изображения компонентов, указывающие на то, что первый компонент заполняет свою ВКП и активно теряет свою массу, вследствие чего система находится в общей анизотропной оболочке газа, теряемого первым компонентом. Распределение газа около компонентов автор объясняет с точки зрения модели, предложенной коллективом авторов (Бисикало Д. В., Боярчук А. А., Кузнецов О. А., Чечеткин В. М., 1997, 1998).

В UU Cas околосистемный газ имеет многокомпонентную структуру. Сама же система, видимо, находится в самом начале стадии перемены ролей.

3.2.4 V368 Cas

3.2.4.1 Определение относительных элементов орбиты

Многочисленные наблюдения этой звезды, полученные автором в астрономической обсерватории УрГУ в 1980-1983гг. были использованы для определения ее геометрических и физических характеристик.

Исследование кривой блеска выполнено в модели Расселла - Меррилла. Внезатменная кривая блеска использовалась для получения Фурье коэффициентов по формуле:

$$I = A_0 + A_1 \cos \Theta + A_2 \cos 2\Theta.$$

Полученные коэффициенты и количество использованных внезатменных точек приведены в таблице 3.2.14.

Таблица 3.2.14 Фурье коэффициенты для кривой изменения блеска V368 Cas в максимумах.

	U	B	V	R
A ₀	0.9505 ±48	0.9629 ±5	0.9566 ±5	0.9358 ±32
A ₁	-0.0476 ±53	-0.0515 ±7	-0.0550 ±6	-0.0613 ±35
A ₂	-0.0077 ±62	-0.0120 ±9	-0.0134 ±7	-0.0188 ±41
n	36	364	364	36

Анализ блеска выполнен по B и V кривым с использованием программ Лаврова (1980, 1981, 1982), упомянутой выше. В предположении круговой орбиты получены фотометрические элементы. Основными параметрами поиска были наклонение орбиты i , отношение относительных радиусов компонентов $k=r_2/r_1$, средний радиус меньшего компонента r_2 и относительный вклад первого компонента в суммарный блеск системы. Фотометрические элементы совместно с их среднеквадратичными ошибками приведены в таблице 3.2.15. Теоретические кривые блеска полностью совпали с наблюдаемыми.

Таблица 3.2.15 Фотометрические элементы орбиты V368 Cas

	V	B
i	$77^{\circ}9\pm1.0$	$78^{\circ}\pm1.0$
k	0.924 ± 0.075	0.873 ± 0.055
p	-0.317	-0.302
L ₁	0.816 ± 0.025	0.864 ± 0.026
a ₁	0.283	0.283
b ₁	0.275	0.276
c ₁	0.269	0.271
x ₁	0.35 ± 0.27	0.17 ± 0.26
a ₂	0.262 ± 0.030	0.247 ± 0.044
b ₂	0.254	0.241
c ₂	0.248	0.237
x ₂	0.53 ± 0.30	0.27 ± 0.44

3.2.4.2. Эволюционный статус V368 Cas.

Определение абсолютных параметров системы

Эта звезда в Общем Каталоге Переменных Звезд отмечена как звезда спектрального класса В3III. Из отношения поверхностных яркостей, полученного при решении уравнений кривой блеска, следует, что второй компонент относится к спектральному классу A1. При этом были использованы шкала эффективных температур Popper (1980). Из анализа видно, что эта звезда имеет избыток радиуса для своего спектрального класса, очевидно, что эта звезда уже проэволюционировала. Это означает, что в этой системе уже произошла перемена ролей.

Если предположить, что А-звезда заполняет свою полость Роша, можно оценить абсолютные элементы орбиты. Они были получены для двух возможных отношений масс согласно Plavec M.J., Kratochvil P. (1964), используя эмпирические зависимости спектральный класс - масса и масса - радиус для звезд главной последовательности, опубликованные Свечниковым и др. (1984 а, в):

- | | | | |
|----|----------------------------------|--|--|
| 1) | $q=0.24$
$A = 23.04R_{\odot}$ | $R_B = 6.4R_{\odot};$
$R_A = 5.7R_{\odot};$ | $M_B = 6.7M_{\odot};$
$M_A = 1.7M_{\odot};$ |
| 2) | $q=0.35$
$A = 23.04R_{\odot}$ | $R_B = 5.8 R_{\odot};$
$R_A = 6.5 R_{\odot};$ | $M_B = 6.7 M_{\odot};$
$M_A = 2.3 M_{\odot}.$ |

Заключение

Диссертация посвящена исследованию фотометрических проявлений газового вещества в окрестностях массивных тесных двойных систем с горячими компонентами Главной последовательности. Суммируем основные результаты, полученные в диссертации.

В первой главе приведен каталог галактических массивных тесных двойных систем с горячими компонентами на ГП, созданный на основе базовых каталогов как ОКПЗ, каталог спектральных двойных звезд Баттена (Batten A.H., Fletcher J.M., Mac Carthy D.G., 1989), каталога орбитальных элементов масс и светимостей тесных двойных звезд М. А. Свечникова (1986) и при использовании периодических источников. Каталог, содержащий 186 объектов и результаты их исследований, отражает характер и степень влияния околозвездного газа.

Предварительное статистическое исследование базы данных, созданной автором в системе Microsoft Access на основе карточного каталога данной выборки звезд, показало, что практически все они могут быть, отнесены к взаимодействующим. Наиболее обширный спектр проявления газовых структур наблюдается в полуразделенных и контактных системах.

Каталог может быть использован для планирования наблюдений, выбора объектов исследования, при интерпретации результатов наблюдений, и при выполнении статистических исследований. Каталог не имеет себе аналогов, приведен в приложениях к рукописи, а полная версия в виде базы данных имеется на магнитных носителях.

Во второй главе описана, методика одноканальных многоцветных фотоэлектрических наблюдений и, предложенное автором, дополнение к ней, позволившее в астроклиматических условиях средней широты России получать качественные результаты. Приведены высокоточные фотоэлектрические UBVR кривые изменения блеска для четырех массивных тесных двойных систем с горячими компонентами главной последовательности: SZ Жирафа, CC Кассиопеи, UU Кассиопеи, V368 Кассиопеи, полученные на основе многолетних наблюдений автора в астрономической обсерватории Уральского госуниверситета и в Ташкентской обсерватории на горе Майданак. Кривые имеют хорошее заполнение по периоду и точность, соответствующую требованиям, предъявляемым к фотоэлектрическим наблюдениям.

Исключение долгопериодической переменной атмосферной экстинкции (более 5 минут) и оптимизация фотометрического процесса позволила получить наблюдательный материал высокого качества, соответствующий качеству лучших обсерваторий мира и увеличить наблюдательное время на данной обсерватории. Это обстоятельство имеет

особое значение для получения наблюдательного материала для затменных переменных звезд, являющихся взаимодействующими двойными, в поле гравитации которых находится большое количество газа сложной структуры и поведения, оказывающего критическое влияние на определяемые параметры компонент.

В третьей главе приведены результаты решения в модели Расселла-Меррилла кривых изменения блеска массивных тесных двойных систем, полученных автором, и определены параметры компонентов систем. Показана степень и характер влияния околосистемного газа на кривые изменения блеска систем и полученные параметры в модели двух трехосных эллипсоидов. Проявления влияния околовзвездного газа имеют как общие для всех исследуемых систем, так и индивидуальные формы. К общим проявлениям можно отнести: заметные изменения кривых блеска всех трех систем от сезона к сезону; на всех кривых блеска наблюдаются значительные деформации, с различными спектральными и временными характеристиками, что указывает на влияние областей вблизи системы, различных по температурным и динамическим характеристикам. В результатах решений кривых изменения блеска также имеются общие тенденции: а) наличие альтернативных решений у систем CC Cas и UU Cas, возможно, вызванных асимметрией минимумов, б) существенное превышение коэффициентами потемнения к краю у всех систем их теоретических значений для звезд ранних спектральных классов, что вызвано искажением наклона ветвей минимумов присутствием газовых оболочек. Результаты фотометрии и анализа наблюдений показали, что во всех трех исследованных системах околосистемный газ имеет многокомпонентную структуру.

Отметим индивидуальные особенности исследованных систем.

UUCas. Решение кривых изменения блеска смогло показать только фотометрические изображения компонентов, указывающие на то, что первый компонент заполняет свою ВКП и активно теряет свою массу, вследствие чего система находится в общей анизотропной оболочке газа, теряемого первым компонентом. Распределение газа около компонентов автор объясняет с точки зрения модели, предложенной коллективом авторов (Бисикало Д. В., Боярчук А. А., Кузнецов О. А., Чечеткин В. М., 1997, 1998).

Наблюдаемый избыток значения коэффициента потемнения к краю компонентов хорошо объясняется присутствием околовзвездного газа (Путыльник И.Б., Эйнасто 1985, 1990).

Большие различия угла наклона орбиты і в разных спектральных интервалах, автор предлагает объяснить добавочным излучением (L_3) от общей оболочки системы, разным в разных цветах. В этом случае влияние общей оболочки системы (также разное в разных цветах) требует нижней границы в U цвете для $L_3 = 0.1$ от суммарного блеска системы.

Сравнение наблюдений различных сезонов, отличающихся более чем на 200 орбитальных периодов, указывает на наличие как устойчивых, так и короткоживущих (менее 80 периодов) газовых структур в системе.

Остаточные уклоны реальных наблюдений разных сезонов от модельных кривых блеска указывают на сложную структуру распределения газа в системе. Наблюдения показали наличие "мерцаний" системы, амплитуды которых зависят от спектрального диапазона, фазы периода, и сезона наблюдений.

Приведены параметры компонентов, полученные из решения.

CC Cas. Кривые изменения блеска, полученные за 4 года наблюдений, изменяются от сезона к сезону на всех фазах периода, а в некоторых фазах имели место изменения от периода к периоду. Крупные изменения кривых блеска, охватывающие большие промежутки периода, особенно в максимумах, как правило, носят селективный характер. Эти изменения являются значимыми, они находятся за пределами 95% доверительного интервала. После 1982 г. на (O-C)-диаграмме автор зарегистрировала скачок периода обращения системы $\Delta P/P=5.23 \cdot 10^{-5}$. Если связывать изменение периода с потерей вещества, то в модели консервативного переноса вещества в системе это значение соответствует потере массы главным компонентом $\Delta M=2.2-1.1 \cdot 10^{-4} M_{\odot}$, в модели симметричного выброса вещества из системы оно соответствует $\Delta M=3.4-2.1 \cdot 10^{-4} M_{\odot}$. Анализ кривых блеска обнаружил два решения: первое - при $r_2/r_1=k=0.4$, второе - при $k=1$. Наилучшая сходимость решений получается при коэффициенте потемнения к краю $x=1$ для обоих компонентов, что, однако, не соответствует его теоретическому значению для горячих звезд. В первом решении ($k=0.4$) более горячая звезда находится вблизи полосы на (H-R)-диаграмме, в которой примерно 3/4 звезд - объекты типа β Сер. Представлена модель системы для обоих решений. В первом массивный компонент заполняет свою ВКП. Второй компонент не заполняет свою ВКП и по своим параметрам вполне соответствует звезде главной последовательности класса O9-O9.5. Вероятно, в системе началась перемена ролей; главный компонент теряет свою массу, и этот процесс хорошо подтверждается неустойчивостью кривой блеска и значительным изменением периода обращения системы. Во втором решении ($k=1$) менее массивный компонент заполняет свою ВКП. Имеет место избыток светимости около 1m и избыток радиуса в $3.5 R_{\odot}$, но компонент трудно локализовать в пространстве Teff - Mbol - m. Радиус более массивного компонента вполне соответствует звезде главной последовательности, однако имеется недостаток светимости в $\approx 1m$ и значительное покраснение на 1÷2 спектральных подкласса.

Из анализа вытекает, что первое решение является более реальным, а также как указывалось выше, лучше соответствует наблюдениям.

Однако в этом случае главному компоненту более соответствует спектр O9-O9.5.

SZ Cam. Обзор имеющихся кривых блеска обнаруживает, что 1) практически все они искажены влиянием дополнительного поглощения или излучения нефотосферного происхождения, 2) имеется тенденция к развитию некоторых депрессий на кривых блеска в большом масштабе времени (с 1930 до 1988гг.), 3) депрессии носят явный селективный характер; среди длительно развивающихся депрессий выделяются три группы: а) где селективное поглощение в непрерывном спектре, развивается со временем, в) искажения кривой блеска, явно связанные с дополнительным излучением; наибольшие их значения имеют место в тех цветовых полосах, которые содержат сильные водородные линии; с) искажения, которые не поддаются описанию, т.к., в них трудно выделить какие-либо закономерности. Кроме того, кратковременные изменения, длительностью от 1-2 периодов до 20-30: это селективные изменения амплитуды и локальные селективные увеличения яркости.

Новая модель двойных систем, предложенная Пустыльником И.Б. (1994), позволила определить верхний предел скорости потери вещества менее массивным компонентом SZ Жирафа. Лучшее согласие между модельными и наблюдаемыми кривыми достигается, если предположить, что второй компонент теряет вещество со скоростью $\dot{M} = \pm 5 \cdot 10^{-7} M_{\odot}/год$ в модели консервативного переноса вещества между компонентами. Различие в глубинах минимумов указывают, что светимость оболочки в видимом диапазоне не превышает 0.02-0.05 полного блеска системы.

Получены наиболее вероятные значения параметров модели SZ Cam.

У системы наблюдаются значительные изменения периода. С 1971 по 1984гг. наблюдаемое увеличение периода составило $\Delta P/P = 5.942 \cdot 10^{-8}$. На сегодняшний день накапливаются доказательства в пользу объяснения этих изменений световым уравнением, вызванным присутствием третьего тела. Эти новые результаты ничуть не умаляют интереса к рассмотренным выше особенностям системы и только подчеркивают существующую проблему.

Новизна работы

Впервые создан каталог массивных тесных двойных систем с горячими компонентами главной последовательности, в котором представлены наблюдаемые параметры звезд, и некоторые наблюдаемые свидетельства в различных диапазонах длин волн, показывающие присутствие значительного количества околосистемного газового вещества. Он позволяет обобщить наблюдаемые явления и может быть использован при интерпретации наблюдательных данных конкретных систем этого класса.

Впервые получены многоцветные высокоточные с хорошим заполнением и неоднократным перекрытием фотоэлектрические кривые.

блеска SZ Жирафа, CC Кассиопеи, V368 Кассиопеи, позволяющие производить с большой надежностью анализ эффектов, обусловленных влиянием околозвездного газа.

Представлен мониторинг кривых блеска систем, за большой промежуток времени, позволяющий пронаблюдать эволюцию кривых блеска исследуемых систем.

Впервые для интерпретации наблюдаемых явлений SZ Жирафа, CC Кассиопеи, UU Кассиопеи, предложены к рассмотрению модели систем, состоящих из двух эллипсоидальных звезд, погруженных в многоструктурную газовую оболочку, получены параметры околозвездной оболочки SZ Жирафа, образованной радиально расширяющимся звездным ветром от одного из компонентов, где непрозрачность вызвана рассеянием на свободных электронах.

Основные результаты диссертации опубликованы в статьях:

1. Полушкина Т.С., 1977, ПЗ 20, 473-480, *Фотоэлектрические наблюдения SZ Жирафа*.
2. Полушкина Т.С., 1984, Астрономо-геодезические исследования Свердловск, 151-161, *Фотоэлектрические наблюдения V368 Cas.*
3. Полушкина Т.С., 1985, Астрономо-геодезические исследования Свердловск, 97-112, *Фотоэлектрические наблюдения CC Cas.*
4. Полушкина Т.С., 1996, Программа, тезисы докладов и сообщений 25-й международной студенческой научной конференции 29 - 2 февраля 1996, 59, *О каталоге горячих массивных тесных двойных систем.*
5. Polushina T.S., 1986, IBVS N2944, 1-4, *Photometric studies of the eclipsing variable V368 Cas.*
6. Горда С.Ю., Полушкина Т.С., 1987, Астрономо-геодезические исследования. Свердловск 1987, 96-111, *Фотоэлектрические наблюдения SZ Жирафа методом сканирования.*
7. Полушкина Т.С., 1988, Астрономо-геодезические исследования Свердловск, 112-118, *Фотометрические исследования затменной CC Кассиопеи.*
8. Полушкина Т.С., 1988, ПЗ 22, N6, 834-835, *Фотометрические исследования массивной двойной CC Cas.*
9. Полушкина Т.С., 1991, Публ. Тарту обс., N107, 108-113, материалы Всесоюзного совещания, Тыравере, 10-14 октября 1989г., *Массивные тесные двойные системы ранних спектральных классов, наблюдаемые характеристики.*
10. Полушкина Т.С., Астрономо-геодезические исследования. Свердловск 1992, 91-102, *Фотоэлектрические наблюдения массивных двойных звезд SZ Cas, CC Cas, V368 Cas.*
11. Polushina T.S., Pustylnik I.B., 1994, Astron. and Astrophys. Transactions 5,

- N4, 303-315, *The parameters of circumbinary gas in the interacting binary SZ Camelopardalis.*
12. Полушина Т.С., Астрономо-геодезические исследования. Свердловск, *Фотоэлектрические наблюдения массивной двойной звезды UU Cas* (принята к печати.)
 13. Полушина Т.С., 1996 Программа, тезисы докладов и сообщений 25-й международной студенческой научной конференции 29 января - 2 февраля 1996, 59, *О каталоге горячих массивных тесных двойных систем.*
 14. Полушина Т.С., Сб. труд. ГАИШ МГУ, "Переменные звезды - ключ к пониманию строения и эволюции Галактики". Международная конференция посвященная 90-летию со дня рождения Б. В. Кукаркина, 25-29 окт. 1999г., М., 122-126, *Фотоэлектрические наблюдения массивной двойной звезды UU Кассиопеи.*
 15. Полушина Т.С., 2002, Астрон.Ж, 79, 11, 1-9, *Анализ изменений блеска массивной ТДС UU Кассиопеи. I.*

Вклад диссертанта в совместных работах, 6 и 11, равнозначен.

В заключение автор выражает благодарности всем, оказавшим влияние на выполнение данной работы: Свечникову Марию Анатольевичу за предложение интересной темы и обсуждение результатов работы; Черепашку Анатолию Михайловичу за обсуждение структуры работы и постоянное к ней внимание и содействие в ее выполнении; Закировау Мамнуну Мамнуновичу за содействие в получении наблюдательного времени на телескопе АЗТ-14 Ташкентской обсерватории Узбекской АН на горе Майданак; Лаврову Михаилу Ивановичу за предоставленную программу анализа кривых изменения блеска затменных переменных звезд и консультации по ее эксплуатации; Осканяну Ваге Самвеловичу за полезные обсуждения при разработке методики одноканальных дифференциальных фотоэлектрических наблюдений в астрономической обсерватории УрГУ в Коуровке; сотрудникам Коуровской обсерватории за помощь при выполнении наблюдений на телескопе АЗТ-3.

Литература

- Антохина Э.А., Кумсиашвили М.И., 1992, АЖ. **69**. Вып.1, 52-57,
Анализ кривых блеска затменной двойной системы UU Cas.
- Антохина Э.А., Черепашук А.М., 1985, ПАЖ **11**, 10-16, SS 433 - новый
кандидат в черные дыры.
- Антохина Э.А., Черепашук А.М., 1987, АЖ **64**, 562-585, *SS433; параметры
затменной системы с прецессирующими толстым аккреционным
диском.*
- Антохина Э.А., Черепашук А.М., 1988, ПАЖ **14**, 252-260, *RY Щита как
двойная система, превращающаяся в систему WR+OB.*
- Антохина Э.А., Черепашук А.М., 1988, АЖ **65**, *Параметры затменной
двойной системы типа Вольфа-Райе CQ Сер.*
- Боярчук А.А., Бисикало Д.В., Кузнецов О.А., Чечеткин В.М., 1997, в сб.
науч. тр. Двойные звезды, М., Космосинформ, 18-44,
*Газодинамика переноса вещества во взаимодействующих двойных
системах.*
- Бисикало Д.В., Боярчук А.А., Кузнецов О.А., Чечеткин В.М., 1997а, АЖ **74**,
N6, 880-888, *Трехмерное моделирование структуры течения
вещества в полуразделенных двойных системах.*
- Бисикало Д.В., Боярчук А.А., Кузнецов О.А., Чечеткин В.М., 1997б, АЖ **74**,
N6, 889-897, *Влияние общей оболочки двойной системы на
перенос вещества через внутреннюю точку Лагранжи.*
- Бисикало Д.В., Боярчук А.А., Кузнецов О.А., Чечеткин В.М., 1998, АЖ **75**,
N5, 706-715, *Влияние параметров задачи на структуру течения
вещества в полуразделенных двойных системах. Результаты
трехмерного численного моделирования.*
- Боцула Р.А., 1988, Перем. Зvez. **22**, N 5, 707-734, *Нестационарные явления в
затменных двойных разделенных системах главной
последовательности.*
- Галкина Т.С., 1967, Изв.Кр.АО **36**, 175-202, *Исследование физических условий
в атмосфера тесных двойных систем ранних спектральных
классов.*
- Горбацкий В.Г., 1976, Тесные двойные звездные системы и их эволюция,
Труды Всесоюзной научной конференции, М., 29-31 мая 1974 г.,
*Движение газа в тесных двойных системах звезд и их
наблюдательные проявления.*
- Горда С.Ю., 1984, АЦ N1341, 7-8, *О возможности наблюдений переменных
звезд в визуально-двойных системах методом сканирования.*
- Горда С.Ю., 1988, Астрономо-геодезические исследования. Свердловск , 131-
137, *Применение метода сканирования для наблюдений
переменных звезд в визуально-двойных системах.*

- Горда С.Ю., Полушкина Т.С., 1987, Астрономо-геодезические исследования. Свердловск 1987, 96-111, *Фотоэлектрические наблюдения SZ Жирафа методом сканирования*.
- Горда С.Ю., Свечников М.А., 1999, АЖ 76, N8, 598-603, *Эмпирические зависимости L-M, R-M и M-T_{eff} для звезд главной последовательности компонентов ТЛС и звезд малых масс.*
- Домбровский В.А., Гаген-Торн В.А., 1964, Тр.АО ЛГУ 20, вып.37, N323, 75, *Пространственное распределение звезд, пылевой материи и межзвездной поляризации в районе открытого галактического скопления NGC 1502.*
- Де Ягер К., 1984, Звезды наибольшей светимости, М., Мир.
- Курочкина Н.П., Курочкин Н.Е., Петрова Н.Б., Фролов М.С., Шугаров С.Ю. 1985, Общий каталог переменных звезд, 4-е изд., М., Наука
- Лавров М.И., 1971, АЖ 48, 301-308, *Прямой метод определения элементов фотометрической орбиты.*
- Лавров М.И., 1973, ПЗ 18, 529-533, *Машинный анализ кривых блеска затменных двойных систем.*
- Лавров М.И., "Машинный анализ кривых блеска затменных двойных звезд.
Ч.1: Казан. ун-т, 1980, Деп. в ВИНИТИ 6.03.80, N3680-80
- Лавров М.И., "Машинный анализ кривых блеска затменных двойных звезд.
Ч.2: Казан. ун-т, 1981, Деп. в ВИНИТИ 22.02.81, N797-82
- Лавров М.И., "Машинный анализ кривых блеска затменных двойных звезд.
Ч.3: Казан. ун-т, 1982, Деп. в ВИНИТИ 1.04.82, N2815-82
- Лавров М.И., Труды Казанской городской астрон. Обсерв. 1993. Вып. 53, 34-47, *Комплекс программ на языке "БЕЙСИК" для анализа кривых блеска затменных двойных систем.*
- Мартынов Д.Я., 1971, в кн. Затменные переменные звезды, М., Наука, 156-208, *Затменные системы с деформированными компонентами. Тонкие эффекты.*
- Масевич А.Г., Тутуков А.В., 1988, в кн. Эволюция звезд: теория и наблюдения, М., Наука, 152.
- Никонов В.Б., 1944, ДАН СССР 45, 151.
- Никонов В.Б., 1953, Бюлл. Абаст. обс. 14, 3-233, *Опыт построения фундаментального каталога фотоэлектрических цветовых эквивалентов звезд спектральных типов B8 и B9.*
- Памятных А А., 1994, в кн. Неустойчивые процессы во вселенной, М., Космосинформ, 8-49, *Природа пульсаций B-звезд главной последовательности.*
- Паренаго П.П., 1938, Тр.ГАИШ 12, 5-138, *Исследование изменений блеска 208 переменных звезд (1902-1937).*
- Паренаго П.П., Кукаркин Б.В., 1940, ПЗ 5, N9-10, 287-292, *Массивная затменная переменная UU Кассиопеи.*
- Полушкина Т.С., 1977, ПЗ 20, 473-480, *Фотоэлектрические наблюдения SZ Жирафа.*

- Полушина Т.С., 1984, Астрономо-геодезические исследования. Свердловск, 151-161, *Фотоэлектрические наблюдения V368 Cas.*
- Полушина Т.С., 1985, Астрономо-геодезические исследования. Свердловск, 97-112, *Фотоэлектрические наблюдения CC Cas.*
- Полушина Т.С., 1992, Астрономо-геодезические исследования. Свердловск, 91-103, *Фотоэлектрические наблюдения массивных двойных звезд SZ Cam, CC Cas, V368 Cas.*
- Полушина Т.С., 1996, Программа, тезисы докладов и сообщений 25-й международной студенческой научной конференции 29 - 2 февраля 1996, 59, *О каталоге горячих массивных тесных двойных систем.*
- Полушина Т.С., 1988, Астрономо-геодезические исследования. Свердловск , 112-118, *Фотометрические исследования затменной CC Кассиопеи.*
- Полушина Т.С., 1991, Публ. Тарту обс., N107, 108-113, материалы Всесоюзного совещания, Тыравере, 10-14 октября 1989г., *Массивные тесные двойные системы ранних спектральных классов, наблюдаемые характеристики.*
- Полушина Т.С., Астрономо-геодезические исследования. Свердловск 1992, 91-102, *Фотоэлектрические наблюдения массивных двойных звезд SZ Cam, CC Cas, V368 Cas.*
- Полушина Т.С., 2002, АЖ 79, N11, 1-9, *Анализ изменений блеска массивной тесной двойной системы UU Кассиопеи.I.*
- Пустыльник И.Б., Эйнасто Л., 1984а, ПАЖ 10, 516-522, *Кривые блеска тесных двойных систем с общими рассеивающими оболочками.*
- Пустыльник И.Б., Эйнасто Л., 1984б, ApSS 105, 259-285, *Light curves of gas-eclipsing binary systems.*
- Пустыльник И.Б., Эйнасто Л., 1985, Бюлл.Абастум.астрофиз.обсерв. 58, 121-154, *Кривые блеска газозатменных двойных систем.*
- Пустыльник И.Б., Эйнасто Л., 1987, ПАЖ 13, 603-609, *Моделирование кривых блеска тесных двойных систем с околозвездными оболочками.*
- Пустыльник И.Б., Эйнасто Л., 1990, Бюлл.Тарту Астрофиз.обсерв., 3-24, *Исследование эффектов взаимодействия в тесных двойных системах с нерелятивистскими компонентами.*
- Пыльская О.П., 1970 Астрономо-геодезические исследования. Свердловск, 19
- Свечников М.А., 1969, Уч.Записки УрГУ, N88, сер.астрон. вып.5, 3, *Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд.*
- Свечников М.А., Тайдакова Т.А., 1984а, АЖ. 61, 1, 143, *О зависимости масса-спектр для звезд главной последовательности.*
- Свечников М.А., Бессонова Л.А., Дубинина Н.А., 1984б, Науч.Информ. Астрон. Сов. АНССР, N50, 56, *Некоторые результаты статистических исследований затменных переменных звезд. I. Изучение разделенных систем главной последовательности.*

- Свечников М.А., 1985, Бюлл.Абастум.астрофиз.обсерв. **59**, 71, *Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд и некоторые результаты его обработки.*
- Свечников М.А., 1986, "Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей тесных двойных звезд" Иркутск, изд. Иркутского Университета.
- Селиванов С.М., 1934, Tadjik.Obs. , N1.
- Рачковская Т.М., 1974. Изв.КрАО **506** 106-114, *Спектрофотометрическое исследование затменно-переменных систем CC Cas и RZ Cas.*
- Холопов П.Н., Самусь Н.Н., Горанский В.П., Горыня Н.А., Киреева Н.Н., Харвиг В., 1987, Публ.Татр. астрофиз. обсерв. **52**, 320-328, *Фотоэлектрические наблюдения AO Cas.*
- Цесевич В.П., 1971, в кн. Затменные переменные звезды, М., Наука, 21-44, *Фотометрические фазы затмений.*

- Abt H.A., 1981, ApJS **45**, 437-456, *Visual multiples. VII - MK classifications.*
- Batten A.H., Fletcher J.M., Mac Carthy D.G., 1989, Pabl.Dom.Astrophys.Observ. **17**, *Eighth catalogue of the orbital elements of spectroscopic binary systems.*
- Barlow M.J., 1982, IAUS, **99**, 149-171, *Observations of mass loss from OB and Wolf-Rayet stars.*
- Beals C.J., Oke J.B., 1954, MN **113**, 530-552, *On the relation between distance and intensity for interstellar calcium and sodium lines.*
- Beyer M., 1936, Mitt Brift.AN **258**, 273-277, *Observations of the short period light variations.*
- Binzel R.P., Hatigan P., 1979-1980, Amer.Assoc.Var.Stars Observ. **8**, N2, 58-61, *Photoelectric light curve and period study for CC Cassiopeiae.*
- Bieging J.H., Abbott D.C., Churchwell E.B., 1989, ApJ **340**, 518-536, *A survey of radio emission from galactic OB stars.*
- Budding E., 1973, ApSS **22**, N1, 87, *Analysis of Eclipsing Binary Light Curves on Automatic Computers*
- Budding E., 1974, ApSS **29**, N1, 17-39, *Calculations of proximity effects in close binary systems.*
- Budding E., 1975, ApSS **36**, N2, 329-343, *Spectrographic study of the eclipsing binary system SZ Camelopardalis.*
- Cannon A. 1934, HB N897.
- Chochol D., 1980, Bull.Astron.Inst.Czechosl., **31**, N6, 321-343, *The close binary SZ Camelopardalis - a semi-detached system.*
- Chochol D., 1981, Contr.Astron.Obs.Skalnate Pleso **10**, 89-123, *Photoelectric photometry of the close binary SZ Camelopardalis in the intermediate passband filters.*

- Chochol D., Bakos G. A., Bartolini C., 1985, *Conr. Astron.observ. Skalnato Plesse* **13**, 75-91, *Photoelectric photometry of the eclipsing binary V505-Monocerotis.*
- Conti P.S., 1973, *ApJ* **179**, 161-179, *Spectroscopic studies of O-type stars. II. Comparison with non-LTE models.*
- Conti P.S., Alschuler W.R., 1971, *ApJ* **170**, 325-344, *Spectroscopic studies of O-type stars.I. Classification and Absolute Magnitudes.*
- Conti P.S., Leep E.M., Lorre J.J., 1977 *ApJ* **214**, 759-772, *Spectroscopic studies of O-type stars. VIII - Radial velocities and the K-term.*
- Crawford J.A., 1955, *ApJ* **121**, 71-76, *On the subgiant components of eclipsing binary systems.*
- De Greeve J.P. 1986, *Spase Sci. Rev.* **43**, 139-210, *Semidetached systems – Evolutionary viewpoints and observational constraints.*
- De Loor C., 1980, *Spece Sci.Rev.* **26**, 113-155, *Эволюция массивных звезд.*
- Eaton J.A., 1978, *Ap.J.* **220**, 582-591, *Ultraviolet photometry from the orbiting astronomical observatory. XXXI. The shape and atmospheric structure of the primary component of UW Canis Majoris.*
- Eaton J.A., Hall D.S., 1979, *ApJ* **227**, 907-922, *Starspots as the cause of the intrinsic light variations in RS Canum Venaticorum type stars.*
- Etzel P.B., 1981, in *Photometric and Spectroscopic Binary Systems*, ed E.B.Carling and Z. Kopal (Dordrecht, Rridel) p.111
- Etzel P.B., 1993, in *Light Curve Modeling of Eclipsing Binary Stars*, ed. E.F.Milon (New York, Springer-Verlag), p.113
- Franz O.G., 1966, *Lovell Observ.Bull.* **6**, N15, 251-, *Photometry and astrometry of close double stars by a photometric scanning technique.*
- Franz O.G., 1970, *Lovell Observ.Bull.* **7**, N17,191-197, *A photoelectric area scanner for astrometry of visual double stars.*
- Gaposchkin S., 1952, *H.A* **118**, N26.
- Gaposchkin S., 1953, *HA* **113**, N2, *Elements of 281 eclipsing binaries and their light curves.*
- Gibson D.M., 1980, in: Plavec M.J.,Plavec M.J., Popper D.M.,Ulrich R.K. (eds.) *Close Binary Stars: Observation and Interpretation*, IAU Simp. **88**, , p.652-660, Reidel, Dordrecht 31, *Variable radio emission CC Cassiopeiae and AR Lacertae.*
- Gibson D.M., Hjellming R.M., 1974, *PASP* **86**, 652-660, *Variable radio emission from CC Cassiopeiae and AR Lacertae.*
- Gies D.R., 1987, *ApJS* **64**, 545-563, *The kinematical and binary properties of association and field O stars.*
- Gorda S.Yu., 2000, *IBVS* N4839 1-3, *UBVR-photometry of the eclipsing binary SZ Cam.*
- Gutierrez-Moreno A., Moreno H., Stock J., Torrez C., Wroblewski H., 1966, *Publ. Univ. Chile, Dep. Astr.* **1**, N2, 19-22, *The accuracy of extinction determinations.*

- Guthnick P., Prager R., 1930, AN **239**, 5713, *Fünf fightelektrisch gefundene Veränderliche von sehr frühem Spektraltypus.*
- Harris G.L.H., 1976, ApJS **30**, N14, 451-490, *Evolved stars in open clusters.*
- Harries T.J., Hilditch R.W., Hill G., 1998, Mon.Not.R.Astron.Soc. **295**, 386-396, *Interacting OB star binaries: LZ Cep, SZ Cam and IU Aur.*
- Haussler K. 1970, Hartha Mitt.H.3., *UU Cas.*
- Heintze J.R.W., Grygar J., 1970, BAC **21**, №2, 77-91, *Determination of the shape and of the limb darkening at λ 4230 of the components of the eclipsing binary SZ Camelopardalis.*
- Hilditch R.W., Hill G., 1975, Mem.R.Astron.Soc. **79**, 101-129, *Stromgren Fourcolor observations of North binary stars.*
- Hill G., 1979, Pabl.DAO **15**, 297-325, *Description of an eclipsing binary light curve computer code with application to Y Sex and the W UMa code of Rucinsky.*
- Hill G., Hilditch R.W., Aikman G.C.L., Khaleseh B., 1994, AAp **282**, 455-466, *Studies of early-type variable stars. VIII. The massive binary system CC Cassiopeiae.*
- Hill G., Rucinski S.M., 1993, in Light Curve Modeling of Eclipsing Binary Stars, ed. E.F.Milon (New York, Springer-Verlag), p.135.
- Hoppmann J., 1958, Mitt.Univ.Sternw.Wien. **9**, N13-17, 181.
- Howarth I.D., Prinja R.K., 1989, ApJS **69**, 527-592, *The stellar winds of 203 Galactic O stars: a quantitative ultraviolet survey.*
- Hubeny I., Plavec M.J., 1991, AJ **102**, 1156-1170, *Can a disk model explain Beta Lyrae?*
- Hubeny I., Harmanec P., Shore S.N., 1994, AAp **289**, 411-418, *On the strategy of future observations and modeling of the β Lyr system.*
- KangY.W., Wilson R.E., 1989, AJ **97**, 848-865, *Least-squares adjustment of sport parameters for three RS CVn binaries.*
- Kitamura W., Ymasaki A.I., 1972, Tokyo Astron.Bull. №220, 2563-2575, *Photoelectric observations of the close binary system.*
- Koch R.H., 1970, Vistas in Astronomy **12**, 21, *Observational "facts" of Binary Mass Loss.*
- Kondo Y., 1996, Rev.Mex-AA **5**, 5-8, *Mass flow in and out of close binaries.*
- Kopal Z., 1946, Harvard Obs. Monograph., N6.
- Kopal Z., 1959, Close Binary Systems, New Jork..
- Kopal Z., Shapley M.B., 1956, Jodrell Bank Ann. **1**, 141.
- Kuiper G.P., 1941, ApJ, **93**, 133-177, *On the interpretation of β Lyrae and other close binaries.*
- Linnell A.P., 1984, ApJS **54**, 17-31, *A light synthesis program for binary stars. I.*
- Linnell A.P., 1991a, ApJ **374**, 307-318, *A light synthesis study of W Ursae Majoris.*
- Linnell A.P., 1991b, ApJ **379**, 338-342, *The ultraviolet light curves of W Ursae Majoris.*
- Linnell A.P., Scheick X., 1991d, ApJ **379**, 721-728, *Does SV Centauri harbor an accretion disk?*

- Lorenz R., Mayer P., Drechsel H., 1998, Astron.Astrophys. **332**, 909-927, SZ
Camelopardalis - an early-type eclipsing binary embedded in a multiple system.
- Mannino G., 1959, Mem SAI **30**, N1-2, 19-30, *La binaria spettroscopica AO Cassiopeiae.*
- Mardirossian F., Mezzetti M., Predolin F., Giuricin G., 1980, Astron.Astrophis. **86**, 264-266, *SZ Cam: A Semi-detached Binary System?*
- Martin N., 1972, AAp **17**, 253-266, *An objective-prism study of Galactic structure in Cassiopeia.*
- Martin P.G., Campbell B., 1976, ApJ **74**, 1082.
- Mason B.D., 1994, Ann.Rep.Canada, 31.
- Mason B.D., Giess D.R., Hartkoff W.I., Bagnuolo W.G., ten Brummelaar J.T., McAlister H.A., 1998, ApJ **115**, 821-847, *ICCD speckle observations of binary star XIX. An Astrometric/spectroscopic survey of O stars.*
- Mayer P., 1990, BAIC **41**, 231-236, *Eclipsing binaries with light-time effect.*
- Mayer P., Lorenz R., Chochol D., Irzamambetova T.R., 1994, AAp **288**, L13, SZ
Cam - early-type eclipsing binary with a third body.
- Martin N., 1972, As.Ap., **17**, 253-266, *Etude de la structure galactique a l'aide du prisme-objectif: une region dans Cassiopee.*
- Martin C., Plummer H.C., 1921, MNPAS **81**, 464-469, *Magnitude curves of three short-period variable stars: RR Leonis, Y Aurigæ, and UU Cassiopeiæ*
- Molteni D., Belvedere G., Lanzafame G., 1991, Monthly Notices Roy. Astron. Soc., **249**, 748-754, *Three-dimensional simulation of polytropic accretion discs.*
- Morgan W.W., Whitford A.E., Code A.D. , 1953, ApJ **118**, N2, 318, *Studies in Galactic Structure. I. a Preliminary Determination of the Space Distribution of the Blue Giants.*
- Munch G., 1957, ApJ **125**, 42-65, *Interstellar absorption lines in distant stars. I. Northern Milky Way.*
- Murphy R.E., 1969, ApJ **74**, 1082-1094, *A spectroscopic investigation of visual binaries with B-type primaries.*
- Mutel R.L., Lestrade J.F., 1985, AJ **90**, 493-498, *Radio emission from RS CVn binaries. I - VLA survey and period-radio luminosity relationship.*
- Nelson B., Davis W.D., 1972, ApJ **174**, 617-628, *Eclipsing-Binary Solutions by Sequential Optimization of the Parameters.*
- Neubauer F.J., 1943, ApJ **97**, 300-309, *The Radial Velocities of Faint Class B Stars in the Declination Zone 0° to -23°.*
- Paczynski B., 1967, Comm.obs.Roy.de Belg., ser.B, N17, 111.
- Paczynski B., 1971, Ann.Rev.As.Ap. **9**, 183-208, *Evolutionary processes in close binary systems.*
- Payne-Gaposchkin C., 1952, HA **118**, N25.
- Pearce J.A., 1926, PA **34**, 628.
- Pearce J.A., 1927, PDAO **4**, N6, 67-79, *The orbits of the spectroscopic components of the two helium stars, H.D. 19820 and H.D. 176853.*

- Pearce J.A., 1952, HA **118**, N25, 195.
- Pearce J.A., 1957, JRASCan. **51**, 59, *The Masses of the O- and B-Type Spectroscopic Binaries, Determined by the Mass-Luminosity Relation.*
- Peppel U., 1984, A&AS **57**, 107-119, *Mass loss rates for northern OB-stars.*
- Petrie R.M., 1950, PDAO **8**, N10, 319-331, *The magnitude differences between the components of eighty-two spectroscopic binaries.*
- Piotrowski S., 1948, ApJ **108**, 36-45, *An analytical method for the determination of the intermediary orbit of an eclipsing variable.*
- Plasket J.S., Pearce J.A., 1933, PDAO **5**, N3, 223.
- Plavec M., 1967, Comm.obs.Roy.de Belg., ser.B, N17, 83.
- Plavec M. 1973, Extended Atmospheres and Circumstellar Matter in Spectroscopic Binary Stars, Ed. A.H. Batten, Dordrecht, Reidel, 21.
- Plavec M.J., 1980 in "Close Binary Stars; Observations and Interpretation", Dordrecht, 251-261.
- Plavec M.J., 1985, in "Interacting Binaries", Proc. NATO Adv. Study Inst., Cambridge, Dordrecht, 155-178.
- Plavec M. 1990, Activ Close Binaries, ed. C. Ibanoglu, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 37.
- Plavec M.J., Kratochvil P., 1964, Bull. Astr. Inst. Czech. **15**, 5, 165-170, *Tables for the Roche model of close binaries.*
- Plaut I. 1963, Groningen Publ. N55.
- Popper D.M., 1957, JRASCan. **51**, 51-58, *Critical Studies of Absolute Dimensions of Eclipsing Stars.*
- Popper D.M., 1980, ARAA **18**, 115-164, *Stellar masses.*
- Polushina T.S., 1986, IBVS N2944, 1-4, *Photometric studies of the eclipsing variable V368 Cas.*
- Polushina T.S., Pustynnik I.B., 1994, Astron. and Astrophys. Transactions **5**, N4, 303-315, *The parameters of circumbinary gas in the interacting binary system SZ Camelopardalis.*
- Popper D.M., 1980, Ann.Rev.Astron. and Astrophys. **18**, 115.
- Proctor D.D., Linnell A.P., 1972, ApJS **24**, 449, *Computer Solution of Eclipsing Binary Light Curves by the Method of Differential Corrections*
- Pustynnik I.B., Einasto L., 1984b, ApSS **105**, 259-285, *Light curves of gas-eclipsed binary systems.*
- Pustynnik I.B., 1994, Astron. and Astrophis. Transactions **5**, N4, 287-301, *Anisotropic stellar winds in binary systems.*
- Rakosch K.D., 1965, App.Opt. **4**, 1453-1456, *Photometric area scanner.*
- Romano G., 1959, Ariel.Publ. N17.
- Russell H.N., 1912a, ApJ **35**, 315-340, *On the Determination of the Orbital Elements of Eclipsing Variable Stars. I.*
- Russell H.N., 1912b, ApJ **36**, 54-74, *On the Determination of the Orbital Elements of Eclipsing Variable Stars. II.*
- Russell H.N., 1939, ApJ **90**, 641-674, *Notes on Ellipticity in Eclipsing Binaries.*
- Russell H.N., 1942, ApJ **95**, 345-355, *Notes on Eclipsing Variables.*

- Russell H.N., 1945, ApJ **102**, 1-13, *Intermediary Elements for Eclipsing Binaries.*
- Russell H.N., 1948, ApJ **108**, 388-412, *Idealized Models and Rectified Light-Curves for Eclipsing Variables.*
- Russell H.N., Merrill J.E., 1952, Contrib. Princeton Univ. Obs., N26, *The determination of the elements of eclipsing binaries.*
- Sanford R.F., 1934, ApJ **79**, 84-88, *The Radial-Velocity Variation of UU Cassiopeiae.*
- Sanford R.F., 1949, ApJ **110**, 117-125, *Interstellar Calcium Lines in the Spectra of Stars in Open Clusters.*
- Sawada K., Matsuda T., 1992, Monthly Notices Roy. Astron. Soc., **255**, 17-20, *Three-dimensional hydrodynamic simulation of an accretion flow in a close binary system.*
- Schwarzschild, Härm, 1959, ApJ, **129**, 637- *On the Maximum Mass of Stable Stars.*
- Shobbrook R.R., 1978, MNRAS **184**, 825-, *The evolutionary state of the Beta Canis Majoris variables. II - The luminosity calibration and evolutionary state.*
- Snow T.P., Morton D.C., 1976, Ap.J.S. **32**, 429-465, *Copernicus ultraviolet observations of mass-loss effects in O and B stars.*
- Srivastava J.B., 1979, IBVS N1571, *Binary System CC Cassiopeiae.*
- Stebbins J., Huffer C.M., Whitford A.E., 1940, ApJ **92**, 193-199, *The Mean Coefficient of Selective Absorption in the Galaxy.*
- Stothers R., Simon N., ApJ 1970, **160**, 1019- 1030, *Influence of Opacity on the Pulsational Stability of Massive Stars with Uniform Chemical Composition.*
- Struve O. 1941, ApJ **93**, 104-117, *The Spectrum of β Lyrae.*
- Tolmar Gy., 1940, A.N **271**, 21-22, *Über die Periode von UU Cassiopeiae.*
- Vanbeveren et all., 1979, AAp **73**, N1-2, 19-30, *Non-conservative evolution of massive close binaries including stellar wind mass loss.*
- Walker G.A.H., Andrews D.H., Hill G., Morris S.C., Smyth W.G., Whiter J.R., 1971, PDAO **13**, 415- 428.
- Wallenquist A., 1954, Uppsala Astron.Obs. Ann., **84**, N2, 12.
- Wesselink A.I., 1941, Ann.Sternew.Leiden. **17**, 1-68, *A study of SZ Cam.*
- Wilson R.E., 1974b, ApJ **189**, 319-329, *The secondary component of Beta Lyrae.*
- Wilson R.E., 1979, ApJ **234**, 1054-1066, *Eccentric orbit generalizatioin and similtaneous solution of binary stars light and velocity curves.*
- Wilson R.E., 1981, ApJ **251**, 246-258, *Equilibrium figures for Beta Lyrae type Disks.*
- Wilson R.E., 1982, in Binary and Multiple Stars as Tracers of Stellar Evolution, ed. Z. Kopal, J. Rahe, Dordrecht, Reidel, p.261.
- Wilson R.E., 1992, Documentation of Eclipsing Binary Computer Model, privately circulated Monograph.
- Wilson R.E., 1993a, ApSS **92**, 229- 230, *Convergence of Eclipsing Binary Solutions.*

- Wilson R.E., 1994, PASP **106**, N703, 921-941, *Binary-Star Light-Curve Models.*
- Wilson R.E., Devinney E.J., ApJ **166**, p.605-619, *Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni.*
- Wilson R.E., Lapasset E., 1981, AAp **95**, 328- 333, *Progress on a quantitative model for Beta Lyrae.*
- Wilson R.E., Leung K.C., 1977, Astron. and Astrophys. **61**, 137-140, *V 701 Scorpii and its place among early contact binaries.*
- Wilson R.E., Starr T.C., 1976, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **176**, 625-632, *SV CEN : an unusual example of mass transfer.*
- Wilson R.E., Tarrel D., 1994, in The Evolution of X-Ray Binaries, ed. S. Holt and C.S., Day (New York, Am. Inst. Phis.), p.483.
- Wilson R.E., Woodward E.J., 1983, ApSS **89**, 5-14 , *U, B, V light curves of CO Lacertae.*
- White N. E. 1989, A&Ap.Rev. **1**, 85-110, *X-ray binaries.*
- Wood D.B., 1971, AJ **76**, 701-710, *An analytic model of eclipsing binary stars system.*
- Young A., Snyder J.A., 1982, ApJ **262**, 269-, *Evidence for accretion activity and obscured hot component stars in W Serpentis type binaries.*
- Ziółkowski J., 1977, Proc.IAU Gen.Assembly, Grenoble.
- Zonn W., Semeniuk J., 1959, Ac.A., **9**, 141.
- Zuckerman B., Palmer P., Morris M., Turner B. E., Gilra D. P., Bowers P. F., Gilmore W., 1977, ApJ Letters, 211, L97-L101, *Expanding molecular envelopes around evolved stars.*
- Zug R.S., 1933, PDAO **16**, 119, *An investigation of color excess in galactic star clusters.*

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица N 1

**Список кандидатов в массивные тесные двойные
системы с горячими компонентами**

N/N	HD	ARGEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
1	177284	V337 Aql	B0.5V+B2.5V	16+10		кр.бл. меняется
2	176853	V599 Aql	B3.5V+B3.5V	10.5+6.5		
3	353804 (b)	V688 Aql				
4	183794	V822 Aql	B2.5+B9.5		1.67"	кр.бл. меняет./Sp меняет. /радиопоток
5	175514	V1182 Aql	O8+B1	37.8+13.5	0.012(?)	
6	173198	V1331 Aql	B1+B2	13:+8:		Aql X-1(начало нов. актив. фазы)
7		LR Ara	B2			
8	34333	EO Aur	B1III+O9-B0	20.4+20.4		м.б.перемен.один из компон.
9	35652	IU Aur	O9.5V+B0.5IV-V	21.3+14.4		
10		IY Aur	B5:p			
11	35921	LY Aur	O9+O8.5	30+18.6	0.6"/ NGC 1907	меняет.min на 0.02- 0.03m
12	25638/9	SZ Cam	O9IV+B0.5V	15.3+10.7	18"/ NGC 1502	м.б. четверн. сист.p=50.7 лет, кр.бл. меняет.
13	57060	UW CMa	O7.5Iab+O9.7Iab	25+25	NGC 2362	X-перем./V расшир.обол.1000 км/с
14	56014	EW CMa	B3IIIe	>2000	0.102"	
15	55173	FF CMa	B2V+B2V		Cr 132a	
16	53756	FM CMa	B1Vn		#в обл.туманност и SN	
17	52942	FZ CMa	B2.5+B2.5	18	#в обл.туманност и SN	
18	305543	DW Car	B1V+B1V		Cr 228	
19	97484	EM Car	O8.5V+O8V	22.3+20.3		апсид.движ. P=42года
20	306180	EN Car	B3-B5		Tr 18	
21	94878	GG Car	B0Ve			обол./физич.перем.к

N/N	HD	ARGEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
						омпон.
22		GL Car	B0.5+B1	13.5+13		апсид.движ
23	83475	GW Car	B1III	9+		возмож.движ.лин. апсид
24	303503	HH Car	O8V+B0III	17+14	5";13";15"	возмож.движ.лин. апсид/ кр.бл.искажена
25	305867	HI Car	B4-B5			
26	89714	HP Car	B1III		0.4"	
27		QX Car	B2V+B2V	9.27+8.48		апсид.движ.(м.б.)
28	93206	QZ Car	O9.5Ib+O9.5III	M1+M2=60	4-крат/ Со 228#л Car	X-источ./оболоч.
29	90707	V348 Car	B1III+B0III(e)	M1+M2=65	/ IC 2581#в ядре HII обл,	возмож.пульсации типа в Сер/ в NGC 2581
30	92024	V381 Car		14.6+		главн.компон.- зв.типа beta Сер
31		TX Cas	B1.5-1.3+B7			
32		UU Cas	B0.5III	34.5+25.7		кр.бл.меняется;
33		XX Cas	B4Vn+B8			кр.бл.меняется/ м.б.движ. лин.апсид
34	1337	AO Cas	O9.5I+O8V	29+24.5		
35		AQ Cas	O8.5III+O8.5III*	29.5+24.6		кр.бл.асимм./аккрец. зв. Имеет.асинх.F1=7.3
36	19820	CC Cas	O8.5III+B0.5V	24.2+11.8		кр.бл.меняется/ радио перемен.
37		DN Cas	O8V+O			кр.бл.асимм.
38		GU Cas				
39		IL Cas	B5*			
40		KL Cas	OB			
41		LR Cas	B5			
42		OX Cas	B2.5+B3V	11.0+10.3	NGC 381	апсид.движен./ радио источ.
44		V368 Cas	B3+(A1)	6.7+1.7		
45	224151	V373	B0.5II+B4III	21+15.5		апсид.движ.

N/N	HD	ARGEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
		Cas				
46		V375 Cas	B3			
47		V381 Cas	B3			
48	3950	V486 Cas	B1V+B2III			
49		V518 Cas	B3		Stock 208(?)	
50	15238	V529 Cas	B5V*			
51	219634	V649 Cas	(B2.5V+B5.5V)nk	8.7+3.0		кр.бл.меняется/ L3/ 4U 2316+61
52	113016	RZ Cen	B1IV:n			
53	102552	SV Cen	B1V+B6.5II-III	11.2+9.4		
54	103146	VZ Cen	B1III			
55	100915	BF Cen	B8		NGC 3766	
56	308826	BH Cen	B3+B3		IC 2944	м.б.М3/ короткопериод. колеб.на кр.бл.~50лет;
57	101084	LW Cen	B1.5V		IC 2944	
58	102892	LZ Cen	B0.5+B1*	12.5+13.5		
59	99769	MN Cen	B2-B4		7"	
60	309074	MQ Cen	B6-B7			
61		V346 Cen	B0.5-1+B0.5-1	11.8+8.4		апсид.движ.
62	116795	V380 Cen	B4-B5			
63		V495 Cen	Be			
64		V593 Cen	B1Vn		Stock 16	
65	115937	V606	B0-B1			

N/N	HD	ARTEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
		Cen				
66		XZ Cep	B1.5II/III+B1.1III-V	14.2+18.1		
67	216014	AH Cep	B0.5Vn+B0.5n	17.7+15.6		
68	239767	AI Cep	B0.5Vp			
69	218066	CW Cep	B0.5V+B1V	11.8+11.1	20"	
70	215835	DH Cep	O6V(n)+O6n	29.4+25.0	NGC 7380	
71		DN Cep	B5			
72	208392	EM Cep	B0.5V+B1Ve		19.8"/ NGC 7160	кр.бл.меняется/ общ.оболоч.ы/ набл.вспышки
73	216629	IL Cep	B3e		7"	
74	209481	LZ Cep	O9.5V+B2V	19.7+9.33		м.б.апсид.движ. С P=369 лет,
75	217312	NY Cep	B0.5V+B2V	12.9+9.4	10"	
76		beta Cep	B2IIIfeV			
77		AQ Cir	OB			
78		W Cru		70<M1+M2 <20		кр.бл.меняет./ постоян.мен. ширина МИНИМ-ов
79	106871	AB Cru	O8V+B0.5	19.7+7.0		
80		AI Cru	B2IVe		NGC 4103	
81	198846	Y Cyg	O9.3+O9.4	17.5+17.3		апсид.движ.с P=47.6/ зв.ветер по резон.лин.
82		DL Cyg	B3+A0	14.8+9.1		
83		KV Cyg	B1V			
84	187879	V380 Cyg	B1.5II+B2V	12.1+7.3		апсид.движ.? с P=1395лет;
85		V382 Cyg	O7V+O(7-8)V	26.0+19.3	11"	общ.оболоч./IImin= F(л)
86	190967	V448 Cyg	O9.5e+B1Ib-II	25.2+14.0	NGC 6871	
87	227696	V453 Cyg	B0.5IV+B0.5IV	13.9+10.7	NGC 6871	
88		V454 Cyg	B5		IC 4996	

N/N	HD	ARGEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
89		V455 Cyg	B2e			
90	228911	V470 Cyg	B2e+[B4]	13.8+12.1		
91	193611	V478 Cyg	O9.5V+O9.5V	16.6+16.3	4"/ Doi 42	кр.бл.искажена/апси д. движ. с Р=26.3г.
92		V483 Cyg	B6			
93		V498 Cyg	B1:III			
94		V698 Cyg	B2			
95		V699 Cyg	B2		рядом туманность	
96		V725 Cyg	Of+Of			радио перем.
97		V729 Cyg	O7Ianfp+O6fla	58.5+13.7	1.5"	
98		V1187 Cyg	B1		IC 1318 в туман.	
99		V1356 Cyg	B0V			
100	190467	V1362 Cyg	B5IIIn			
101		V1418 Cyg	B5			
102		V1481 Cyg	B2V		NGC 7128	
103	187459	V1765 Cyg	B0.5Ib+B2V	23.5+11.7		м.б.апсид.движ. с Р=1930
104	200310	60 Cyg	B1Ve		сосед.комп. слабее на	
106		SV Gem	B5			

N/N	HD	ARGEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
107	253102	WW Gem	B6	10.5+10.3		
108	254699	LT Gem	B1V		ассоц.GemI	
109		CS Lac	B5V			
110		CY Lac				
111		OO Lac				
112		OT Lac	B5			
113	51076	HI Mon	B4			
114		V450 Mon	B5			
115	48914	V505 Mon	B3III-II	50+27	NGC 2244	м.б. оболоч.
116		V521 Mon	A0			
117	259135	V578 Mon	B2		NGC 2244 # Розетки	
118	47129	V640 Mon	O7.5I+O6I*	51.0+42.5		
119	100213	TU Mus	O8.5Vn+[O8]*	17.2+10.8*		кр.бл. меняется,
120		BR Mus	B3			
121	143882	Z Nor	B3IV*			
122		N Nor				
123		GN Nor	B0+B0	15.0+15.0		апсид. движ. м.б. с P=500г.
124		UW Ori	B1+B2	13+6.7		
125	36695	VV Ori	B1+B5	10.8+4.5*		
126	255930	V1028 Ori	B2IV		8.7";13.1"/ NGC 1976 тума	
127	36486	delta Ori	O9.5II+B1*	23+9	0.15";14"	
128	35411	eta Ori	B1V+B2e	14.9+12.3+ 13.6	0.037";1.6"	
129	37043	j Ori	O9III+B1III*	36.1+21.4		апсид. движ./ асинхрон./ перем. зв. ветер,

N/N	HD	ARGEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
130	31237	8pi5 Ori	B2III-IV+B0V	8.9+3.7		апсид.движ.с Р=215г./Х-поток перемен.
131	35715	psi Ori	B1III+B2V*	12.0+7.6*	2.7";83"	м.б.апсид. движ. с Р=149г./ кр.бл.искаж.
132		tau Ori	O9III+B1III			очень больш. е
134	11241	V436Per =1Per	B1.5V+B5V	10+10		м.б.апсид..движ.
135	23180	38 o Per	B2III+B2V		0.98"/ IC 348	оболоч.,/радиоэмисс.
136	22951	40 o Per	B0V			
137		delta Pic	O9V+B3III*	42+15*		общ.оболоч.+оболоч. около одного из комп.
138		SU Psc	B3III+B5III			
139	65818	V Pup	B1V+(B1.5)	17.0+9.3*	7";19"	общ.оболоч./апсид. движ./перем.Х-поток/ область HII
140	170097	V2349 Sgr	B1Vne			
141	165814	V3792 Sgr			10"	кр.бл.меняется сильно,
142	165921	V3903 Sgr	O7V+O9V	30+	Co 367	
143	155550	FV Sco	B6V*			
144	163181	V453 Sco	O8+B0I*	22+13	13.5"	
145		V474 Sco	B3-5			
146	158155	V499 Sco	B5*			
147	322138	V565 Sco	B3			
148	326527	V590 Sco	B5		NGC 6231	
149	317690	V700	B5			

N/N	HD	ARGEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
		Sco				
150	317844	V701 Sco	B1-B1.5+ B1- B1.5n	10.3+10.3	NGC 6383	оболоч.?
151	152667	V861 Sco	B0Ia+B2V	40- 60+12.5*	NGC 6232	
152		V883 Sco	B2.5Vn		9"	
153	149779	V954 Sco	B2IV			
154		beta Sco	B0V+B2V	20.7+13.1		апсид.движ. С P=735 лет
155	151890	mju' Sco	B0V+B2V*	14.0+9.3		
156		epsilon Sgr				
157	169515	RY Sct	O6-O7+O9.5-B0	39.1+48.9		
158	167971	MY Ser	O8Ibf			кратн.сист.
159	249751	CT Tau	B2+B2*			
160	301073	AA Vel	B2			
161	93468	AC Vel	B3III/V+B3III/V			
162		EQ Vel	B7			
163		FX Vel	Be			кр.бл.меняется
164		FY Vel	B2I:pe			
165	116658	alfa Vir	B1III-IV+B2-2.5V*	10.9+7.1	0.0025";0.05"; 0.5"	
166	345185	AT Vul	B3			
167		DR Vul	B0V+B0.5V	13.2+12.1	4-х кратн. сист.	апсид.движ.С P=36.56 лет
168	698	HD 698	B7II-Ib+[B0.5V]	15+14		
169	15558	HD 15558	O5III(f)		IC 1805	
170	17514	HD 17514		48+13.5		
171	47732	HD	B1.5IV+B2			

N/N	HD	ARGEL ANDER	SP	M1+M2	NEIBORHOOD	COMMENTS
		47732				
172	64315	HD 64315				
173	93205	HD 93205		63.3+24.5	Tr16	
174	93403	HD 93403	Og+O8	42.8+28.2	Tr13	
175	123335	HD 123335				
176	149404	HD 149404	O8.5I+O7III(f)			
177	152248	HD 152248	O7Ib:(n)(fp)			
178	155775	HD 155775				
179	159176	HD 159176	O	30.9+32.6		
180	166734	HD 166734	O	31.5+33.7		
181	191201	HD 191201	O	17.4+16.3		
182	228766	HD 228766	O	37.0+34.9		
183		BD+40 4220	OB			

Таблица N 2

**Каталог горячих массивных тесных двойных систем
принадлежащих Главной последовательности**

Системы РГП

КОД	N/N	ИМЯ	MORFOLOG	EVOLUSHION	P	DP	SP	DSP	M	DM
1	17	FZ CMa			1.273	Var*	B2.5+B2.5		18	
2	19	EM Car	EA		3.414		O8.5V+O8V		22.3+20.3	
3	22	GL Car			2.422		B0.5+B1	*	13.5+13	
4	24	HH Car	EA		3.231	Var*	O8V+B0III	Ha в эмис.	17+14	
5	42	OX Cas	EA		2.489	Var*	B2.5+B3V		11.0+10.3	
6	51	V649 Cas	EB		2.391		(B2.5V+B5.5V)nk	Var	8.7+3.0	*
7	58	LZ Cen	EB	в конце ГП	2.758		B0.5+B1*		12.5+13.5	
8	66	XZ Cep	EB	2 запол.	5.097	Var*	B1.5III/II+B1.III-V		14.2+18.1	$1.6*10^{-7}$
9	69	CW Cep	EA		2.729		B0.5V+B1V	Ha в эмис.Var	11.8+11.1	$10^{-8} *$
10	75	NY Cep	EA		15.275		B0.5V+B2V		12.9+9.4	
11	82	DL Cyg	EA; EB		4.830		B3+A0		14.8+9.1	
12	84	V380 Cyg	EA	1 в конце ГП, 2внач.	12.426		B1.5II+B2V	Не повыш.	12.1+7.3	
13	87	V453 Cyg	EA		3.889		B0.5IV+B0.5IV		13.9+10.7	

14	91	V478 Cyg	EA		2.881		O9.5V+O9.5V		16.6+16.3	
15	127	delta Ori	EA		5.732	Var*	O9.5II+B1*		PCyg лин.NV,SiIV,CIV, var	23+9
16	128	eta Ori	EA+pCep		7.989+0.432		B1V+B2e	T1=T2	14.9+12.3+13.6	9*10 ⁻¹¹
17	167	DR Vul	EA		2.250+18 лет	Var?	B0V+B0.5V		13.2+12.1	
				+47 лет						

Продолжение таблицы

Системы РГП

КОД	E	NEIBORHOOD	COMMENTS
1		# в обл.туманности SN	в области туман.НII 5295/ Возм. З тело/ нет синхрониз.
2	0.012		апсид.движ. с P=42года
3	0.1457		апсид.движ
4	0.16*	5";13";15"	возмож.движ.лин.апсид/кр.бл.искажена
5	0.058	NGC 381	апсид.движен./ радио источник.
6			кр.бл.меняется/ L3; 4U 2316+61
7			нет синхрон./ м.бл.движ.лин.апсид
8	0.09		общ.оболоч.+оболоч.у 2комп./перенос в-ва перем./ м.бл.М3
9	0.058/0.032	20"	м.бл.нестац.оболоч./апсид.движ. с P=39лет/ нет синхрон./ кр.бл.асимм./ м.бл.физ.перем.3в.
10	0.49	10"	м.бл.апсид.движ.с P=1300лет, со скор.0,28'/год/ e=0.48
11			
12	0.22		апсид.движ.?с P=1395лет;
13	0.02	NGC 6871	окопозв.в-во./апсид.движ. с P=72года/ нестац.процессы имеют периоды

КОД	E	NEIBORHOOD	COMMENTS
			актив. и спада.
14	0.019	4"/ Doi 42	кр.бл.искажена/ апсид.двих. с Р=26.3г.
15	0.09 уменьш.	0.15";14"	общ.оболоч.расшир.с V=1000-2000км/с/ Зтело/ апсид.двих. с Р=227г. / радио поток/ X-поток(f)
16	0.1	0.037";1.6"	общ.оболоч./один из компонент.перемен./ Зтело/ кратн.сист./ Р=9.2г.
17	0.06-0.092	4-х кратн. сист.	апсид.двих.с Р=36.5б лет

Системы ПР

КОД	N/N	ARGELAND	MORFOL	ENOLUSHION	P	DP	SP	DSP	M	DM
1	1	V337 Aql	EB		2.734	Var*	B0.5V+B2.5V	e(P)	16+10	
2	28	QZ Car	EB		5.998 + 20.73		O9.5Ib+O9.5III	На в эмис.	M1+M2=60	
3	35	AQ Cas	EA	горячий заполн.	11.721	Var*	08.5III+O8.5III*		29.5+24.6	$5*10^{-7}$
4	36	CC Cas	EB		3.368	Var*	O8.5III+B0.5V		24.2+11.8	$3*10^{-6}$
5	44	V368 Cas	EA		4.452		B3+(A1)		6.7+1.7	
6	86	V448 Cyg	EB	2запол.	6.520	Var*	09.5e+B1lb-II	На в эмис.	25.2+14.0	$10^{-6} - 10^{-7}$
7	118	V640 Mon		на ГП	14.396		O7.5I+O6I*	перем.На в эмис., РСyg лин.	51.0+42.5	*
8	124	UW Ori	EB	2запол.	2.038	Var*	B1+B2		13+6.7	
9	151	V861 Sco	EB		7.848+0.6		B0Ia+B2V	На в эмисс.	40-60+12.5*	$3*10^{-6}$

Продолжение таблицы

Системы ПР

КОД	E	NEIBORHOOD	COMMENTS
1			кр.бл. меняется
2	4-крат/ Со 228#п Car		X-источ./оболоч.
3	0.035		кр.бл.асимметр./ аккрец.зв. имеет асинхрон.F1=7.3
4	0.102*(sp)		кр.бл.меняется/ радио перемен.
5			
6	0.038	NGC 6871	околозв.в-во/ горяч.зв.враш.много быстрее синхр./ кр.бл.меняется,асимм./ сущ.долгопериод.перем.
7			неправ.перемен./общ.оболоч./несинхрон.1комп./ зв.Пласкета
8			
9	0.080*(sp)	NGC 6232	4U 1702-42/ 38"пульсации/ перем.Х-источ./ (2 м.б. черн.дыра)

Системы КЕ

КОД	N/N	N/ARGELAN	MORHP	EVOLUTION STAT	P	DP	SP	DSP	M	DM
1	2	V599 Aql	EB		1.849		B3.5V+B3.5V		10.5+6.5	
2	13	UW CMa	EB		4.393	Var*	O7.5lab+O9.7lab	Н в эмис.*	25+25	*
3	18	DW Car	EA		1.328		B1V+B1V			
4	20	EN Car	EA		1.535		B3-B5			
5	23	GW Car	EB		1.129		B1III		9+	
6	29	V348 Car	EB		5.562		B1III+B0III(e)	beta Cep*	M1+M2=65	
7	43	V367 Cas			3.709					
8	56	BH Cen	EB	ZAMS	0.792	Var*	B3+B3			
9	64	V593 Cen	EW		0.755		B1Vn			
10	72	EM Сер	EB; EW	ГП(Не повышен)	0.806	Var*	B0.5V+B1Vе	быстро вращающийся магнит.		
11	77	AQ Cir	E		1.150(0.572)		OB			
12	96	V725 Cyg	EA		6.6(1.463)	Var*	Of+Of			
13	113	HI Mon	EB		1.574		B4			
14	119	TU Mus	EB, EW		1.387	Var*	O8.5Vn+[O8]*	*	17.2+10.8*	
15	120	BR Mus	EB	около ZAMS	0.798		B3			

KOD	N/N/ARGELAN	MORHP	EVOLUTION STAT	P	DP	SP	DSP	M	DM
16	133 KR Per	EB		0.996		F5V ??????			
17	142 V3903 Sgr		ZAMS	1.744		O7V+O9V		30+	
18	150 V701 Sco	EW, EB	около ZAMS	0.762	Var*	B1-B1.5+B1-B1.5n		10.3+10.3	1.5*10-5*
19	152 V883 Sco	EB		1.295	Var?	B2.5Vn			
20	153 V954 Sco	EW		1.269		B2IV			
21	159 CT Tau	EW		0.667	Var*	B2+B2*			
22	163 FX Vel	EB/KE		1.052		Be			

Продолжение таблицы

Системы КЕ

КОД	Е	NEIBORHOOD	COMMENTS
1	0.033		
2	0.353/0.06-0.15	NGC 2362	Х-перем./V расшир.обол.1000км/с
3		Cr 228	
4		Tr 18	
5			возмож. движ. лин. апсид
6		IC 2581#в ядре HII обл,	возмож. пульсации типа в Сер/ в NGC 2581
7			оболоч.у главн.звезд.
8		IC 2944	м.б.3 тело/ короткопериод. колебан.на кр.бл.~50лет;
9		Stock 16	
10		19.8"/ NGC 7160	кр.бл.меняетс;/ общ.оболоч./ набл.вспышки
11			
12			радио перем.
13			
14			кр.бл.меняется,
15			
16			

КОД	E	NEIBORHOOD	COMMENTS
17	0.03	Co 367	
18		NGC 6383	оболоч?
19		9"	
20			
21			
22			кр.бл.меняется

Системы РГП - ПР

КОД	N/N	N/WARGLAN	MORPH	EVOLUTION	P	DP	SP	DSP	M	DM
1	12	SZ Cam	EB		2.698	Var*	O9IV+B0.5V			15.3+10.7
2	67	АН Сер	EB;EA		1.775	Var*	B0.5Vn+B0.5n	* На В эмис.Var		17.7+15.6
3	79	AB Cru	EA	2запол.	3.413		O8V+B0.5	У 2зв. сильн. недост. Н		19.7+7.0
4	83	KV Cyg	EA		2.839		B1V			

Продолжение таблицы

Системы РГП - ПР

КОД	E	NEIBORHOOD	COMMENTS
1		18"/ NGC 1502	м.б. четверн. сист.P=50.7 лет/ кр.бл. меняет.
2	0.034		А меняется/ М3=8Mo Р2=62года/ кр.бл.меняется/ кр.бл.асимм.
3			
4			

Системы РГП - КЕ

КОД	N/N	N/ARGELAN	MORHP	P	DP	SP	DSP	M	DM
1	8	EO Aur	EA	4.065		B1III+O9-B0	*var,УФ др.	20.4+20.4	
2	65	V606 Сен	EB	1.495		B0-B1			
3	85	V382 Cyg	EB,EW	1.886	Var*	O7V+O(7-8)V	26.0+19.3	4*10-5	
4	125	VV Ori	EA; EB	119.086/1.485	Var*	B1+B5		10.8+4.5*	

Продолжение таблицы

Системы РГП - КЕ

КОД	E	NEIBORHOOD	COMMENTS
1	0.051		М.б.перемен.один из компон.
2			
3		11"	общ.оболоч./IImin=F(l)
4	0.29		светов.уравн. с P=1200W М3 соотв.А3V/ кр.бл.меняется,

Системы ПР - КЕ

КОД	N/N	N/MARGLAN	MORPH	EVOLUTION	P	DP	SP	DSP	M	DM
1	9	IU Aur	EB		1.811	Var*	09.5V+B0.5IV-V		21.3+14.4	3 тело
2	11	LY Aur	EB		4.002(4.025)		09+O8.5		30+18.6	
3	15	FF CMa	EB		1.213		B2V+B2V			
4	34	AO Cas	EII		3.523	Var*	O9.5I+O8V	На в эмис., N,C Рсуг.	29+24.5	5*10-6
5	46	V375 Cas	EB	2 запол.	1.473		B3			
6	53	SV Cen	EB	2 запол.?	1.658	Var*	B1V+B6.5II-II		11.2+9.4	0-10-4
7	57	LW Cen	EB		1.003		B1.5V			
8	62	V380 Cen	EA,EB		1.087		B4-B5			
9	74	LZ Cep	EII	2 запол.	3.070		O9.5V+B2V	*	19.7+9.33	
10	80	AI Cru	EA		1.418		B2IVe	*		
11	139	V Pup	EB	2 запол.около ZAMS*	1.454	Var?	B1V+(B1.5)		17.0+9.3*	

Продолжение таблицы

Системы ПР - КЕ

КОД	E	NEIBORHOOD	COMMENTS
1			растет // один комп. в оболоч./возм.прецесс.орбиты с Р=335лет/M3=18Mo/ L3=20%/ сист.четверн.
2		0.6"/ NGC 1907	меняет.мин на 0.02-0.03т
3		Cr 132a	
4	0.037		возмож.движ.лин.апсид/ оболоч.расшир.с v=2400км/c/ кр.бл.асимметр. и асимметр.
5			
6			А растет/ общ.оболоч./ м.б.з тело/ Р var./ кр.бл.асимм., меняется;
7		IC 2944	
8			
9	0.049		м.б.апсид.движ. С Р=369 лет,
10		NGC 4103	
11		7";19"	общ.оболоч./апсид.движ/ перем.Х-поток/ область HII

Системы РГП - ПР - КЕ

КОД	N/N	N/ARGELAN	MORHP	EVOLUTION	P	DP	SP	DSP	M	DM
1	31	TX Cas	EB	ZAMS, 2 запол.	2.927	Var*	B1.5-1.3+B7	*		
2	70	DH Сер	EII	около ZAMS	2.111		O6V(n)+O6n	29.4+25.0	2*10-6	
3	90	V470 Cyg	EII	около ZAMS оба	1.873		B2e+[B4]	13.8+12.1		
4	137	delta Pic	EB	2запол.около ZAMS*	1.672		O9V+B3III*		42+15*	
5	155	mju' Sco	EB	2запол., обе ZAMS	1.446	Var?	B0V+B2V*	*	14.0+9.3	

Продолжение таблицы Системы ПР - КЕ

КОД	Е	NEIBORHOOD	COMMENTS
1			
2	0.127	NGC 7380	покрасн.такое же как у скоплен./апсид.движ. с P=2.6лет/ нет синхрон/ кр.бл.меняется;
3	0.056		общ.оболоч.+оболоч.около одного из компон.
4	0.05		общ.оболоч.расшир. с V=300км/с/ апсид.движ. с P=133г.
5	0.057		

Системы GS

КОД	N/N	N/ARGEL	MORН	EVOLUTION	P	SP	DP	M	DM
1	21	GG Car	EB		62.086/31.030	B0Ve	H I e, P Cyg*		5*10-7
2	45	V373 Cas	E	оба проевол.	13.419	B0.5II+IVIII	* На в эмис.	21+15.5	
3	156	epsilon Sgr	EB		137.939				
4	164	FY Vel	EB		33.72	B2I:pe	* эмис. в Н		

Продолжение таблицы Системы ПР - КЕ

КОД	E	COMMENTS
1		обол./физич.перем.компон.
2	0.137	апсид.движ.
3		
4		

Список использованных сокращений

DE- разделенные системы превоизошедшие с ГП,
DM - разделенные системы ГП,
DZ - разделенные системы вблизи нулевой ГП,
EA – кривая блеска типа Алгол,
EB - кривая блеска типа β Лиры,
Ell - системы переменность блеска которых вызвана эллипсоидальностью
EW - кривая блеска типа W Uma,
GS - системы с гигантами и субгигантами,
KE - контактные системы, превоизошедшие с ГП,
KM - контактные системы ГП,
KZ - контактные системы вблизи нулевой ГП,
SDE -полуразделенные системы превоизошедшие с ГП,
SDM-полуразделенные системы главной ГП,
SDZ- полуразделенные системы вблизи нулевой ГП,
vis – визуальный,
ZAMS – начальная Главная последовательность ,
pg – фотографический,
ре – фотоэлектрический,
апсид.движ. – движение линии апсид.
асимм. – асимметрия,
ВДЗ - взаимодействующие двойные звезды,
ГП - Главная последовательность,
Г-Р - диаграмма Герцшпрунга-Ресселла ,
зв. – звезда,
компон. – компонент,
кр.бл. – кривая блеска,
кратн.сист. – кратная система,
м.б. – может быть,
МТДС - массивные тесные двойные системы ,
обл. – область,
обол. – оболочка,
общ. – общий,
ОКПЗ - Общей Каталог Переменных Звезд ,
перемен. – переменный,
сист. – система,
ТДС - тесные двойные системы ,
УрГУ – Уральский государственный университет им. А.М. Горького,
физич.перем.компон. – компонент с физической переменностью,
ЭМИС. – эмиссия,