

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

*На правах рукописи*

УДК 524.382;524.388;520.872

**МАЛОГОЛОВЕЦ Евгений Владимирович**

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПОНЕНТ  
МАЛОМАССИВНЫХ КРАТНЫХ ЗВЕЗД КАТАЛОГА  
HIPPARCOS**

(01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия)

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико–математических наук

Нижний Архыз – 2007

Работа выполнена в Специальной Астрофизической Обсерватории  
Российской Академии Наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук  
Ю. Ю. БАЛЕГА

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
В. Л. Афанасьев  
Специальная Астрофизическая  
Обсерватория РАН

доктор физико-математических наук  
В. В. Орлов  
Санкт-Петербургский государственный  
университет

Ведущая организация: Институт астрономии РАН,  
г. Москва

Защита состоится 18 октября 2007 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании Дис-  
сертационного совета Д 002.203.01 при Специальной Астрофизиче-  
ской Обсерватории РАН по адресу: 369167, КЧР, Зеленчукский рай-  
он, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан 15 сентября 2007 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
кандидат физ.-мат. наук

МАЙОРОВА Е.К.

## Общая характеристика работы

### Актуальность

Значительная часть звезд нашей Галактики, по разным оценкам от 50 до 90 процентов, входит в состав кратных систем. Это говорит о том, что фрагментация ядер молекулярных облаков во время их гравитационного коллапса является основным механизмом при формировании звезд. Теория фрагментации, которая критически зависит от исходного распределения плотности газа в облаке, должна объяснять статистические свойства звездных систем, согласующиеся со современными наблюдениями. Вместе с тем, значительная часть проблем звездообразования остается нерешенной. Среди них – распределение отношений масс в двойных системах, сохранение углового момента при формировании звезд, связь между наблюдаемым распределением расстояний и эксцентриситетов в двойных и свойствами газового диска. Остаются нерешенными также вопросы динамической стабильности образованных систем, влияния приливных взаимодействий на эволюцию звезд и др. Эти ключевые для теории формирования звезд проблемы трудно проверяемы на практике: любая выборка кратных звезд искажена селекционными эффектами, а важнейшие физические параметры не определяются из наблюдений напрямую.

Особый интерес представляет изучение фундаментальных параметров кратных звезд с компонентами малых масс. Карликовые звезды являются самым распространенным типом населения в Галактике. В частности, в ближайших окрестностях Солнца ( $d \leq 25$  пк) не менее 70-ти процентов звезд являются карликами классов К-М (Глизе, Ярайс, 1991). Современные теоретические модели строения и эволюции маломассивных звезд достигли высокой степени сложности, и необходимые для теории точности определения масс и светимостей часто превышают возможности наблюдательных методов (Барафф и др., 1998). Если для звезд с  $M > 1M_{\odot}$  высокоточные массы и светимости определяются из наблюдений затменных спектрально - двойных систем, то карлики поздних спектральных классов редко наблюдаются как затменные. Во-первых, размеры карликовых звезд меньше размеров звезд ранних спектральных классов. Во-вторых, маломассивные звезды труднее наблюдать из-за их низкой светимости. В третьих, спектры звезд поздних спектральных классов сильно блендированы. Поэтому до недавнего времени наи-

более представительной выборкой эмпирических данных о массах и светимостях холодных карликов оставался обзор Генри и Маккарти (1993), основанный на результатах наблюдений долгопериодических визуально-двойных звезд. Точность определения масс компонент в таких системах не превышает 10-20%.

За последние годы в литературе появились новые данные об основных характеристиках самых маломассивных звезд в двойных и кратных системах. Они получены в результате комбинирования различных наблюдательных методов: построение изображений с применением адаптивной оптики в сочетании с точными измерениями лучевых скоростей (Сегренсен и др., 2000), космическая астрометрия с помощью датчиков точного ведения телескопа HST (Торрес и др., 1999; Бенедикт и др., 2000). Возросший интерес к исследованию маломассивных звезд обусловлен, прежде всего, открытием во второй половине 90-х годов прошлого века первых коричневых карликов (Накаяма и др., 1995) и экзопланет (Майор, Кюлоз, 1995). Тем не менее, несмотря на прогресс в изучении маломассивных звезд, дефицит точных знаний об их массах и светимостях сохраняется, особенно для карликов спектральных классов от G до ранних M.

Астрометрическим спутником HIPPARCOS обнаружено более трех тысяч кратных звезд в окрестности Солнца (ЕКА, 1997). Редукция астрометрических и фотометрических данных показала, что многие из них являются системами с быстрым относительным движением компонент и, следовательно, - короткопериодическими кратными звездами. Для этих систем спутником измерены тригонометрические параллаксы с ошибкой  $\sim 1$  мсд (миллисекунд дуги), а также получены оценки разности блеска. Однако определить параметры орбитального движения по одним лишь данным астрометрии HIPPARCOS не всегда представляется возможным. Кроме того, для уточнения светимостей компонент необходимо привлекать дополнительные измерения разности блеска в разных фотометрических полосах, поскольку для тесных ( $\rho < 0.3''$ ) пар слабее девятой звездной величины относительная ошибка измерения разности блеска по наблюдениям HIPPARCOS часто близка к ста процентам. Данная задача может быть решена с использованием наземных наблюдений с высоким угловым разрешением.

Спекл - интерферометрические измерения звезд регулярно выполняются на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. Используемая система регистрации и алгоритмы

обработки данных позволяют проводить наблюдения маломассивных кратных звезд вплоть до  $14^m$ - $15^m$ . С помощью интерферометрии на БТА могут изучаться все кратные звезды, входящие в каталог HIPPARCOS. Вышесказанное определяет актуальность данной работы.

### **Цели и задачи исследования**

Целью данной работы является определение с дифракционным разрешением 6-м телескопа ( $0.02''$  в полосе  $V$ ) взаимных расстояний и разности блеска в разных фильтрах компонент кратных систем, преимущественно входящих в списки звезд программы астрометрических измерений спутника HIPPARCOS. Подавляющая часть объектов наших наблюдений - близкие ( $d < 50$  пк) звезды спектральных классов от G до поздних M.

На основе интерферометрических измерений систем с быстрым орбитальным движением должны быть вычислены видимые эллипсы орбит, которые позволят с привлечением параллаксов HIPPARCOS и данных спектроскопии на других телескопах определить точные массы и светимости компонент. Тем самым мы ставим задачу уточнения эмпирической зависимости "масса-светимость" для звезд нижней части Главной последовательности.

Особое внимание в работе уделяется изучению характеристик и динамических свойств тройных систем с маломассивными компонентами. В частности, одной из целей данного исследования является проверка динамической устойчивости орбит в таких системах.

### **Методы измерения угловых расстояний и разности блеска в кратных системах**

Для измерения угловых расстояний и разности блеска между компонентами двойной звезды нами используется метод спекл - интерферометрии Лабейри (1970). В спекл - интерферометрии изображение объекта с дифракционным разрешением восстанавливается по серии коротко-экспозиционных ( $\sim 0.01$  сек) интерферограмм. Геометрия наблюдаемой двойной определяется из усредненного по ансамблю изображений спектра мощности. Для двойной звезды этот спектр представляет собой косинусоидальную функцию, период которой обратно пропорционален угловому расстоянию между компонентами  $\rho$ , а ориентация полос определяет позиционный угол си-

стемы  $\theta$ . Контраст полос спектра мощности несет информацию об относительной яркости компонент. Известно, что в спекл - интерферометрии в связи с потерей информации о фазе позиционный угол пары измеряется с неопределенностью  $\pm 180^\circ$ . Для устранения этой неоднозначности мы используем метод экспоненциальных множителей (Волкер, 1981).

При наблюдении тройных звезд итоговый спектр мощности представляет собой наложение спектров подсистем. Как правило, эти спектры по частотам хорошо разделены, так как большинство тройных звезд являются иерархическими системами с существенно различающимися расстояниями между компонентами.

Калибровка масштабов изображений и позиционных углов выполняется двумя разными методами. В первом методе измеряются интерференционные полосы, формируемые в фокальной плоскости с помощью диафрагмы с парой круглых отверстий установленной в сходящемся пучке главного зеркала. Второй метод использует наблюдения “стандартных” звезд, расстояния и углы которых хорошо определены; к таким калибровочным объектам относятся, в частности, звезды Тrapeции Ориона.

Точность измерений зависит от многих параметров, в первую очередь, от качества изображений, яркости объекта и расстояния между компонентами. Характерное значение ошибки измерений угловых расстояний равно 2-3 угловым миллисекундам, позиционных углов –  $0.2-1.0^\circ$ . Предельная разность блеска между компонентами составляет 3.5-4 зв. величины.

### **Научная новизна и практическая значимость работы**

1. На телескопе БТА получены позиционные параметры  $\rho$ ,  $\theta$  и разность блеска  $\Delta m$  для 85 новых двойных звезд и звезд, заподозренных в двойственности с ошибкой  $\sigma_\rho \sim 1$  мсд,  $\sigma_{\Delta m} \sim 0.01-0.1$ . Тринадцать пар интерферометрически разделены впервые.

2. Впервые вычислены интерферометрические орбиты двенадцати двойных звезд. Определены суммарные массы и светимости компонент. Показано, что ошибка определения суммарных масс выбранных пар практически полностью определяется точностью измерений тригонометрических параллаксов.

3. Определена комбинированная спектрально - интерферометрическая орбита пары карликов HIP 96656. Построена эмпирическая

модель системы и определены массы компонент с ошибкой 2.4% и 2.5%.

4. Вычислена интерферометрическая орбита внутренней подсистемы маломассивной тройной звезды HIP 101955, на основании чего определена взаимная ориентация плоскостей орбит подсистем и сделаны выводы об иерархичности и динамической стабильности системы.

5. На основе спекл - интерферометрических измерений на БТА оценены периоды орбитального движения тройной звезды HIP 116384. На базе шестилетних наблюдений сделаны выводы об иерархичности данной системы.

Полученные результаты могут быть использованы для моделирования строения и эволюции, а также для уточнения статистической зависимости “масса-светимость” звезд-карликов поздних спектральных классов. Кроме того, они позволят уточнить эмпирические критерии динамической стабильности кратных звезд.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Результаты спекл - интерферометрических наблюдений на БТА 73 новых двойных и 43 заподозренных в двойственности звезд: позиционные измерения с ошибкой  $\sigma_\rho \sim 1$  мсд и измерения разности блеска  $\Delta m$  в  $V$ -,  $R$ -,  $I$ - фильтрах с ошибкой  $\sigma_{\Delta m} \sim 0.01-0.10$  звездной величины.

2. Новые орбиты для 12 пар с компонентами спектральных классов F-M, орбитальные периоды  $P$  и большие полуоси  $a$ , которых определены с относительными ошибками от 0.2% до 4.5%.

3. Комбинированная спектрально-интерферометрическая орбита двойной звезды HIP 96656. Фундаментальные параметры компонент, в том числе точные (ошибка 2.4 и 2.5%) динамические массы.

4. Выводы об иерархичности орбит близких тройных звезд HIP 101955 и HIP 116384, у которых по предварительным данным предполагалась динамическая неустойчивость.

#### **Апробация результатов**

Основные результаты диссертации докладывались на семинарах и конкурсах научных работ САО РАН, а также на:

1. Всероссийской астрономической конференции (ВАК-2004), Москва, 2004;
2. Симпозиуме МАС N224 “The A-Star Puzzle”, Словакия, 2004;
3. Всероссийской астрономической конференции (ВАК-2005), Москва, 2005;
4. Международной конференции “Multiple Stars across the H-R Diagram”, Германия, 2005.

## Содержание работы

Диссертация состоит из Введения, 5-ти глав и Заключения. Работа содержит 30 рисунков, 37 таблиц. Список цитируемой литературы включает 157 наименований. Общий объем диссертации – 155 страниц.

**Во введении** обсуждается актуальность работы, определены ее цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, формулируются положения, выносимые автором на защиту. Здесь же приведены апробация результатов, список работ, в которых опубликованы результаты диссертации, и личный вклад автора. Во введении также представлено содержание диссертации.

**В первой главе** приведен обзор современного состояния проблемы точных масс и светимостей звезд нижней части Главной последовательности. Для В-Ф звезд основным источником высокоточных эмпирических данных о массах и светимостях являются наблюдения затменных спектрально-двойных систем. Массы и светимости G-M карликов изучены значительно хуже, так как исследования опираются в основном на результаты наблюдений долгопериодических визуально-двойных звезд. Сравнимые на сегодняшний день со звездами В-Ф классов точности определения фундаментальных параметров достигнуты лишь для поздних М-карликов с применением современных внеатмосферных и наземных наблюдений с высоким угловым и спектральным разрешением. Однако в диапазоне классов G - M массы компонент кратных систем с ошибкой лучше 5% определяются лишь эпизодически.

Спутником HIPPARCOS выполнены измерения параллаксов звезд в солнечной окрестности с ошибкой  $\sim 1$  мсд. Около двадцати процентов объектов каталога HIPPARCOS отмечены как кратные звезды. В диссертации приводится обзор разных типов астрометрического решения для кратных систем, представленных в каталоге. Делает-



ся вывод, что значительная часть новых двойных звезд и, особенно, звезд с заподозренной двойственностью может оказаться короткопериодическими системами. На основе оценок орбитальных периодов определяются критерии отбора новых двойных звезд для спекл-интерферометрических наблюдений на БТА. Особое внимание уделяется звездам-карликам спектральных классов G-M.

**Во второй главе** кратко описан процесс формирования спекл-изображений в телескопе большого диаметра, теоретический предел разрешения которого определяется дифракцией на апертуре:  $\alpha = 1.22\lambda/D$ . Флуктуации показателя преломления в атмосфере вызывают фазовые и амплитудные искажения волнового фронта, и угловое разрешение ограничивается значением около  $1''$ . Структура спекл-изображения, регистрируемая с экспозициями  $\sim 10$  мс, определяется интерференцией квазимонохроматических пучков, формируемых на отдельных участках апертуры. Лабейри (1970) показал, что средний спектр мощности серии спекл-изображений содержит в себе информацию о структуре объекта вплоть до дифракционного предела разрешения. Из анализа спектра мощности можно восстановить распределение интенсивности для объектов с центральной симметрией, которыми являются двойные звезды. Приводится описание метода определения позиционных параметров двойных и тройных звезд на основе анализа среднего спектра мощности серии спекл-изображений. Позиционные параметры: угловое расстояние  $\rho$  и позиционный угол  $\theta$  определяются из периода и ориентации полос в спектре мощности. Разность блеска между компонентами вычисляется исходя из условия постоянства контраста полос в зависимости от пространственной частоты. Таким способом удается достигнуть точности определения разности блеска на уровне сотых долей звездной величины.

В конце главы приводится описание метода построения орбит двойных звезд. Параметры орбитального движения вычисляются нами в два этапа. Предварительные элементы орбиты оцениваются с помощью метода Монэ (1979), основанном на Фурье-анализе уравнений движения. На втором этапе орбиты корректируются методом дифференциальных поправок. Если для двойной звезды доступны измерения лучевых скоростей компонент, то есть она наблюдается и как спектрально-двойная система, то можно построить комбинированное спектрально-астрометрическое решение и определить параметры абсолютных орбит.

**В третьей главе** представлены результаты измерений 73 новых двойных звезд и 43 звезд с предполагаемой двойственностью в период с 2000 по 2001 гг. Выполнено 139 позиционных измерения двойных систем с дифракционным разрешением, получено 102 измерения разности блеска для 60 пар. Измеренные угловые расстояния  $\rho$  лежат в диапазоне от 56 до 1158 мсд. Характерные ошибки измерений угловых расстояний составляют 1-4 мсд, ошибка разности блеска варьируется от 0.02 до 0.3 звездной величины. Из списка 43 объектов с предполагаемой двойственностью у 15 обнаружены спутники. Это составляет 35% от общего числа наблюдавшихся звезд подобного типа, что на порядок больше чем в других спекл-интерферометрических обзорах (Мейсон и др., 1999, 2001). Пять из наблюдавшихся звезд программы являются тройными системами. Тройственность двух из них впервые обнаружена на БТА.

**В четвертой главе** представлены результаты исследования фундаментальных параметров, в том числе масс и светимостей, компонент 13 двойных звезд из спекл-интерферометрической выборки БТА. Орбиты 12 пар построены впервые на основе спекл-интерферометрических измерений БТА. Для 12 пар накоплено от 5 до 13 спекл-измерений, что, в совокупности с первым измерением HIPPARCOS, покрывает, как минимум, половину орбитального периода. Характерные ошибки определения больших полуосей и периодов орбит не превышают 3%. На основе элементов орбит и тригонометрического параллакса HIPPARCOS вычислены динамические суммарные массы компонент. Во всех случаях относительная ошибка масс превышает 10%. Наибольшая точность 12% процентов получена для двух систем HIP 4849 и HIP 111685. Показано, что основной вклад в ошибки масс вносят ошибки параллаксов HIPPARCOS. В частности, для системы HIP 114922 ошибка тригонометрического параллакса составляет 99% ошибки суммарной массы. Нами сделан вывод, что для определения масс представленных пар с ошибкой лучше 5% необходимо знать параллакс с точностью на уровне 0.1 мсд. Такие точности станут возможными после запуска астрометрического спутника нового поколения GAIA.

Спектральные классы компонент изученных пар распределены в диапазоне от позднего F до M. Компоненты двух систем HIP 4809 и HIP 5531 относятся к классу светимости IV. На рисунке 1 показано положение звезд на диаграмме “ $M - M_V$ ”. Компоненты двойных систем с разностью блеска  $\Delta m \leq 1$  отмечены кружками (возможные

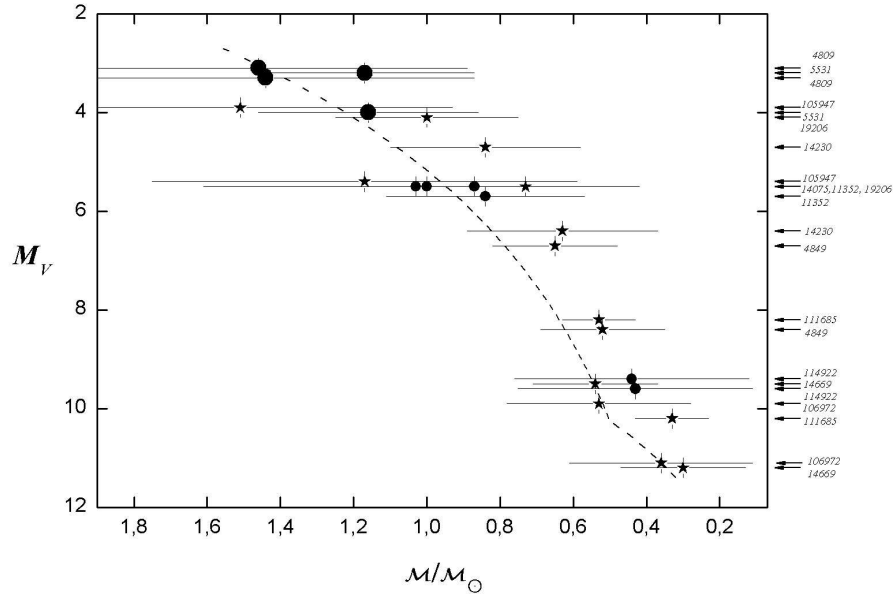


Рис. 1: Положение компонент 12 новых двойных систем HIPPARCOS на диаграмме “ $M - M_V$ ”.

SB2), компоненты пар с  $\Delta m > 1$  отмечены звездочками (вероятнее всего, SB1). Для двух проэволюционировавших систем, HIP 4809 и HIP 5531, положение компонент отмечено кружками большего диаметра. Штриховой линией показана эмпирическая зависимость “ $M - M_V$ ” из работы (Генри, Маккарти, 1993). Сравнение с эмпирической зависимостью показывает, что некоторые компоненты двойных звезд с разностью блеска  $\Delta m > 1$  значительно отклоняются от “средней” зависимости в сторону малых масс.

Для системы HIP 96656 определены параметры орбитального движения на основе комбинированного спектрально - интерферометрического решения с использованием 16 интерферометрических измерений на БТА и 53 измерений лучевых скоростей компонент, полученных на спектрометре CORAVEL (Баранн и др., 1979) с 1-м телескопом обсерватории в Верхнем Провансе. На рисунке 2 представлен эллипс относительной орбиты системы.

На основе полученных элементов орбиты вычислены массы компонент с ошибкой 2.4 и 2.5 процента. С привлечением измерений разностей блеска в  $V$ ,  $J$ ,  $K$  полосах и спектра низкого разрешения по-

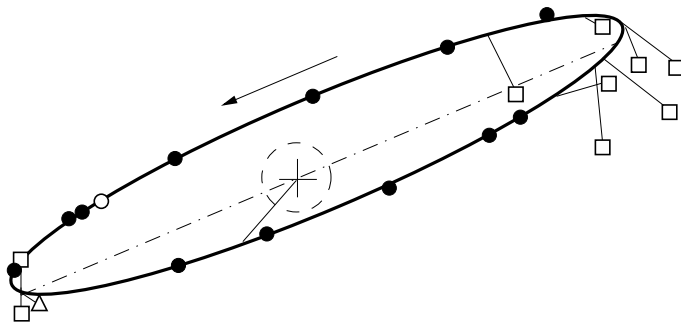


Рис. 2: Видимый эллипс относительной орбиты двойной звезды HIP 96656. Спекл-интерферометрические измерения БТА - черные кружки, белый кружок - интерферометрическое измерение других авторов, визуальные измерения - квадраты, измерение HIPPARCOS - треугольник. Невязки позиционных измерений обозначены сплошными линиями, но в некоторых случаях отрезки меньше, чем размеры символов. Направление орбитального движения указано стрелкой. Сплошной линией отмечено положение периастра, точечно-штриховой линией - положение узлов. Радиус штрихового кружка равен  $0.02''$ .

строена эмпирическая модель системы, вычислен орбитальный параллакс, который на 7% меньше тригонометрического параллакса HIPPARCOS. Отличие объясняется неучетом орбитального движения компонент при редукции данных HIPPARCOS.

**В пятой главе** приводятся результаты исследования двух тройных систем с компонентами - карликами спектральных классов К-М. Первые наблюдения этих звезд на БТА показали, что компоненты расположены на сравнимых между собой угловых расстояниях. Это может указывать на принадлежность систем к классу динамически нестабильных кратных звезд. Для первой из них, HIP 101955, на основе спекл-измерений БТА впервые вычислены орбитальные параметры внутренней подсистемы. Динамические массы подсистем согласуются с оценками спектральных классов компонент. На основе элементов орбит нами сделан вывод, что система является динамически стабильной иерархической тройной звездой. Угол между плоскостями внешней и внутренней орбит близок к  $90^\circ$ . Поэтому для данной системы должен эффективно функционировать механизм Козаи, вызывающий осцилляции эксцентриситетов и угла наклона орбит. По нашим оценкам, за время своей жизни звезда испытала  $\sim 10^6$  таких периодических возмущений.

Вторая звезда, HIP 116384, является молодой системой с возрастом  $200 \pm 100$  млн. лет. На основе спекл-интерферометрических измерений разности блеска в  $I$ ,  $K$  полосах вычислены абсолютные

звездные величины, оценены спектральные классы и массы компонент. Данные оценки согласуются с результатами измерений с адаптивной оптикой на телескопе Subaru (Мартин, 2003). Исходя из оценок орбитальных периодов в системе нами сделано предположение о принадлежности HIP 116384 к классу иерархических кратных звезд.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

## Публикации по теме работы

Основные результаты диссертации опубликованы в восьми работах, из которых пять представляют собой статьи в рецензируемых журналах, а три – труды международных конференций. Список работ приводится ниже.

1. Balega I.I., Balega Y.Y., Malogolovets E.V., “Speckle interferometry of the binary system 53 Cam” // 2004, in “The A-Star Puzzle” (eds. Zverko et al.), IAU Symposium 224, Cambridge, UK: Cambridge University Press, p. 683-685

2. Балегга И.И., Балегга Ю.Ю., Максимов А.Ф., Малоголовец Е.В, Плужник Е.А., Шхагосева З.У., “Спекл - интерферометрия близких кратных звезд. III” // 2006, Бюлл. Спец. астрофиз. обсерв., т. 59, с. 20-33

3. I.I. Balega, Y.Y. Balega, K.-H. Hofmann, E.V. Malogolovets, D. Schertl, Z.U. Shkhagosheva, G. Weigelt, “Orbits of new Hipparcos binaries. II” // 2006, Astron. Astrophys., vol. 448, p. 703-707

4. Y.Y. Balega, J.-L. Beuzit, X. Delfosse, T. Forveille, C. Perrier, M. Mayor, D. Segransan, S. Udry, A.A. Tokovinin, D. Schertl, G. Weigelt, I.I. Balega, E.V. Malogolovets, “Accurate masses of low mass stars GJ 765.2AB ( $0.83 M_{\odot} + 0.76 M_{\odot}$ )” // 2007, Astron. Astrophys., vol. 464, p. 635-640

5. Е.В. Малоголовец, Ю.Ю. Балегга, Д.А. Растегаев, “Близкая тройная система малой массы GJ 795” // 2007, Астрофизический Бюллетень, т. 62, 2, с. 124-130

6. Е.В. Малоголовец, Ю.Ю. Балегга, Д.А. Растегаев, К.-Х. Хофманн, Г. Вайгельт, “GJ 900 – Новая иерархическая система с маломассивными компонентами” // 2007, Астрофизический Бюллетень, т. 62, 2, с. 131-138

7. I.I. Balega, Y.Y. Balega, K.-H. Hofmann, E.V. Malogolovets, D. Schertl, Z.U. Shkhagosheva, G. Weigelt, “Interferometric orbits of new

Hipparcos binaries” // 2007, ESO Astrophysics Symposia, в печати

8. E.V. Malogolovets, Y.Y. Balega, K.-H. Hofmann, D.A. Rastegaev, G. Weigelt, “Speckle interferometry of two low-mass triple systems from the solar neighbourhood” // 2007, ESO Astrophysics Symposia, в печати

### **Личный вклад автора**

В перечисленных выше работах автору принадлежат:

В работе [1] – обработка и анализ данных выполнены совместно с группой соавторов.

В работе [2] – участие в наблюдениях. Обработка всех данных выполнена автором единолично. Анализ и интерпретация результатов наблюдений выполнена совместно с группой соавторов.

В работе [3] и [7] – участие в наблюдениях. Обработка данных выполнена совместно с группой соавторов. Автором самостоятельно получены орбитальные решения шести пар, остальные шесть в соавторстве. Анализ и интерпретация результатов наблюдений выполнена совместно с группой соавторов.

В работе [4] – участие в наблюдениях. Обработка данных выполнена совместно с группой соавторов. Орбитальное решение получено совместно с группой соавторов. Анализ и интерпретация результатов наблюдений выполнена совместно с группой соавторов.

В работах [5], [6] и [8] – участие в наблюдениях. Обработка данных выполнена совместно с группой соавторов. Анализ динамики тройных систем и интерпретация выполнены автором.

### **Список литературы**

- Баранн и др. (Baranne A., Mayor M. and Poncet J. L.) 1979, *Vistas in Astronomy*, 23, 279
- Барафф и др. (Baraffe I., Chabrier G., Allard F., Hauschildt P. H.) 1998, *A&A*, 337, 403
- Бенедикт и др. (Benedict G. F., McArthur B. E., Franz O. G., Wasserman L. H., Henry T. J.) 2000, *AJ*, 120, 1106
- Волкер (Walker J. G.) 1981, *Opt. Acta*, 28, 735
- Генри, Маккарти (Henry T. J., McCarthy D. W.) 1993, *AJ*, 106, 773
- Глизе, Ярайс (Gliese W., Jahrei H.) 1991, *Preliminary Version of the Third Catalogue of Nearby Stars*, NASA/Astronomical Data Center, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD

- ЕКА (ESA) 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200
- Лабейри (Labeyrie A.) 1970, A&A, 6, 85
- Майор, Кюлоз (Mayor M., Queloz D.) 1995, Nature, 378, 355
- Мартин (Martin E. L.) 2003, AJ, 126, 918
- Мейсон и др. (Mason B. D., Martin C., Hartkopf W. I., Barry D. J., Germain M. E., Douglass G. G., Worley C. E., Wycoff G. L., ten Brummelaar T., Franz O. G.) 1999, AJ, 117, 1890
- Мейсон и др. (Mason B. D., Hartkopf W. I., Holdenried E. R., Rafferty T. J.) 2001, AJ, 121, 3224
- Монэ (Monet D. G.) 1979, ApJ, 234, 275
- Накаяма и др. (Nakajima T., Oppenheimer B. R., Kulkarni S. R., Golimowski D. A., Matthews K., Durrance S. T.) 1995 Nature, 378, 463
- Сегренсен и др. (Segransan D., Delfosse X., Forveille T., Beuzit J.-L., Udry S., Perrier C., Mayor M.) 2000 A&A, 364, 665
- Торрес и др. (Torres G., Henry T. J., Franz O. G., Wasserman L. H.) 1999, AJ, 117, 562

Бесплатно

Евгений Владимирович Малоголовец

Фундаментальные параметры компонент маломассивных кратных  
звезд каталога HIPPARCOS.

---

Зак. № 179с      Уч. изд. л. – 1.0      Тираж 100  
Специальная астрофизическая обсерватория РАН