

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени
М.В.ЛОМОНОСОВА
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени
П.К.ШТЕРНБЕРГА

На правах рукописи

ДАМБИС АНДРЕЙ КАРЛОВИЧ

УТОЧНЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ШКАЛ РАССТОЯНИЙ И
ВРЕМЕН НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КИНЕМАТИКИ

Специальность: 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Научный консультант -
доктор физико-математических
наук А.С.Расторгуев

Москва - 2008

Работа выполнена в отделе изучения Галактики и переменных звезд Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга при Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова.

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических наук
Курт Владимир Гдальевич
(АКЦ Физического института
им. П.Н.Лебедева РАН)

Доктор физико-математических наук
Засов Анатолий Владимирович
(кафедра астрофизики и звездной астрономии
физического факультета
Московского государственного университета
им. М.В.Ломоносова)

Доктор физико-математических наук
Бобылев Вадим Вадимович
(Главная астрономическая обсерватория РАН
(Пулково))

Ведущая организация: Научно-исследовательский астрономический институт
имени В.В.Соболева
Санкт-Петербургского государственного университета

Защита состоится 23 октября 2008 г. в 14 часов на заседании диссертационного Совета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, шифр Д501.001.86. Адрес: 119991, Москва, Университетский проспект, 13.

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

Автореферат разослан

2008 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат физ.-мат. наук

С.О.Алексеев

Общая характеристика работы

Движения небесных тел служат основным инструментом определения расстояний во Вселенной. Классический тригонометрический параллакс как явление обязан своим существованием орбитальному движению Земли вокруг Солнца. К сожалению, ограниченная точность измерения угловых смещений объектов на небе — даже в рамках космического астрономического проекта HIPPARCOS, — позволяет сколь-нибудь надежно определять расстояния лишь для сравнительно близких звезд (в пределах 100—200 пк от Солнца). Расстояния до более далеких объектов как правило определяются фотометрически — в основе этого метода лежит так закон обратных квадратов, описывающий уменьшение наблюдаемого потока F от расстояния D до объекта и его светимости L : $F = L / (4 \cdot \pi \cdot D^2)$. С учетом межзвездного поглощения этот закон, записанный в терминах видимой (m) и абсолютной (M) звездных величин и величины поглощения (A), записывается как $m - M - A = 5 \cdot \lg D + 10$. Здесь D — это расстояние от Солнца до объекта в кпк. При этом m известна из наблюдений, а абсолютная величина M рассчитывается исходя из тех или иных наблюдаемых характеристик (эквивалентных ширин спектральных линий — например, для голубых и красных сверхгигантов — или периоду пульсаций — для пульсирующих переменных звезд, например, для классических цефеид, лирид или звезд типа Миры Кита). Таким образом, для определения фотометрического расстояния до объекта необходимо кроме измерения его видимой звездной величины уметь вычислять его абсолютную звездную величину и величину межзвездного поглощения. Построение шкалы абсолютных звездных величин разделяется на две существенно различных задачи. Во-первых, строится относительная шкала абсолютных величин (в рамках которой определяются разности абсолютных звездных величин разных объектов определенного типа). Типичным примером является открытая Генриеттой Ливитт зависимость период — видимая звездная величина для цефеид Большого магелланового облака. Очевидно, что разность видимых звездных величин двух цефеид с известными периодами равна (если отвлечься от межзвездного поглощения) разности их абсолютных звездных величин.

Таким образом, для получения калибровки абсолютной звездной величины (в данном случае — зависимости период—абсолютная величина) остается определить ее нуль пункт. В этом состоит вторая задача. Простейший способ ее решения — принять в качестве первого приближения какого-нибудь значения для этого нуль пункта, вычислить соответствующие фотометрические параллаксы для выборки объектов с известными тригонометрическими параллаксами и определить поправочный коэф-

коэффициент k : $\pi_{trig} = k \cdot \pi_{phot}$, после чего исправить нуль-пункт калибровки абсолютных звездных величин, добавив к нему величину $-5 \cdot \lg k$. К сожалению, число объектов рассматриваемого типа с известными тригонометрическими параллаксами и/или точность тригонометрических параллакссов зачастую оказывается недостаточным для вычисления нуль-пункта калибровки абсолютных звездных величин с удовлетворительной точностью. В этих случаях очень полезным оказывается анализ движений соответствующих объектов — звезд, скоплений и т.д. — относительно Солнца, который позволяет уточнять нуль-пункты принятых шкал расстояния путем согласования средних кинематических параметров рассматриваемой группы объектов, выводимых по лучевым скоростям, со значениями этих же параметров, определяемыми по компонентам векторов скоростей, перпендикулярным лучу зрения, т. е., в конечном счете по компонентам собственных движений. При этом компонент скорости, направленный вдоль луча зрения (т.е. лучевая скорость), получается из наблюдений непосредственно, а компоненты, перпендикулярные лучу зрения, определяются путем умножения соответствующих компонент собственного движения на предварительное расстояние до объекта (определяемое, как правило, фотометрически, т. е. по известному наблюдаемому блеску, величине межзвездного поглощения и предполагаемой абсолютной звездной величине), и, таким образом, в отличие от лучевой скорости, находятся в прямой зависимости от используемой шкалы расстояний. Это принципиальное отличие лучевого компонента вектора полной скорости от двух перпендикулярных ему компонентов позволяет определять поправочный коэффициент к принятой шкале расстояний исследуемых объектов и это обстоятельство служит основой метода статистических параллакссов (Маррей, 1983). Появление современных массовых каталогов абсолютных собственных движений — Tycho-2 (Хог и др., 2000), UCAC2 (Захарияс и др., 2004) и SPM3 (Жирар и др. 2004) —, опирающихся на высокоточную реализацию инерциальной системы отсчета, основанную на данных космического проекта HIPPARCOS, в сочетании с большим количеством опубликованных высокоточных лучевых скоростей превращает статистический анализ движений объектов различных типов (в рамках метода статистических параллакссов) - от рассеянных звездных скоплений и звездных ассоциаций до классических цефеид и переменных типа RR Лиры - в поистине универсальное средство уточнения шкал расстояний. Следует отметить, что в рамках этого метода поправка к исходно принятой шкале расстояний получается как побочный продукт определения кинематических параметров соответствующей выборки.

Следует отметить, что даже если лежащая в основе фотометрической

шкалы расстояний шкала абсолютных величин может быть прокалибрована посредством объектов с известными тригонометрическими параллаксами, метод статистических параллакс позволяет дополнительно уточнить нуль-пункт соответствующей калибровки и обеспечивает независимую проверку полученных результатов. Построение шкалы расстояний во Вселенной представляет собой многоступенчатый процесс и конечный результат зависит от качества всех его "ступенек" и особенно от шкал расстояния ярких галактических объектов из тех, что могут наблюдаться и в других галактиках и служат связующим звеном между внутригалактической и внегалактической шкалами расстояний (классические цефеиды и сверхгиганты различных спектральных классов, а также переменные типа RR Лиры, мириды и т.д.). В связи с этим очень важно, чтобы на каждом из этапов ее построения шкала расстояния не определялась бы целиком и полностью одним единственным типом калибровочных объектов (например, как классическими цефеидами), а опиралась бы на несколько независимых методов калибровки — это позволяет уменьшить влияние возможных систематических ошибок и повышает надежность полученных результатов.

Но движущиеся в пространстве звезды и скопления - это не только "линейка" для измерения расстояний во Вселенной, но и своеобразные "часы", которые можно использовать для измерения и уточнения возрастов космических объектов (например, классическая задача определения кинематического возраста пояса Гулда по скорости его расширения), выбора между разными теориями звездной эволюции (которые предсказывают разные возрасты), а также в качестве источника информации о возможных сценариях звездообразования и даже для датировки древних астрономических каталогов (путем сравнения зафиксированных в каталоге положений звезд с положениями, предсказанными на основании современных координат и высокоточных собственных движений).

Предметом настоящей работы является решение вышеперечисленных задач. Это, с одной стороны, применение анализа звездных движений для построения шкалы расстояний, включая получение оценок расстояний до ряда ближайших галактик, в том числе и до центра нашей собственной Галактики, и исследования кинематики молодых объектов Галактического диска и одного видов представителей старого населения Галактического гало и толстого диска - переменных типа RR Лиры, а с другой стороны - использование информации о движении и пространственном распределении звезд и скоплений для уточнения особенностей звездной эволюции, сценария звездообразования и датировки звездного каталога Альмагест.

Актуальность темы работы

В начале 1980-х годов в связи с подготовкой космического проекта HIPPARCOS, одной из главных целей которого было измерение высокоточных расстояний до звезд, считалось, что результаты, полученные в ходе выполнения проекта, позволят окончательно решить проблему шкалы расстояний. В июне 1997 г., когда были опубликованы результаты этого космического эксперимента, и в первую очередь каталог положений, тригонометрических параллаксов и собственных движений для 118000 звезд, стало ясно, что проект все же не смог окончательно «закрыть» проблему шкалы расстояний. Точность определенных в рамках этого эксперимента параллаксов и/или число объектов, для которых эти параллаксы определены с адекватной точностью оказались недостаточными для выбора между двумя принятыми "крайними" шкалами расстояний - короткой и длинной. Так, например, полученное по данным HIPPARCOS значение расстояния до скопления Плеяды (118 пк) свидетельствовало в пользу короткой шкалы расстояний для рассеянных скоплений и связанных с ними объектов, в то время как для нуль-пункта зависимости период-светимость для классических цефеид параллаксы HIPPARCOS давали значение, свидетельствующее в пользу длинной (и даже "экстремально" длинной) шкалы расстояний. Проблема калибровок шкал расстояний, основанных на тригонометрических параллаксах, состоит в их крайне высокой чувствительности к возможным малым систематическим ошибкам в измеренных параллаксах. Поэтому, несмотря на большой прогресс астрономических исследований, уточнение шкалы расстояний путем использования альтернативных - в том числе и кинематических - методов все остается крайне актуальной задачей.

Быстрое накопление наблюдательных данных (высокоточных лучевых скоростей, собственных движений и фотометрии) о представителях молодого населения Галактического диска — молодых рассеянных звездных скоплениях и OB-ассоциациях, классических цефеидах, голубых и красных сверхгигантах — делает необходимым переопределение кинематических параметров соответствующих подсистем с целью исследования кривой вращения Галактики и уточнения такого ключевого параметра как расстояние Солнца до центра Галактики. То же самое относится и к наиболее интересным представителям старого населения Галактического гало и толстого диска - переменным звездам типа RR Лиры. Эта задача стала особенно актуальной после массового определения высокоточных средних лучевых скоростей цефеид (с ошибкой менее 1 км/с), полученных по данным наблюдений с корреляционным спектрографом,

и появления массовых всенебесных каталогов высокоточных абсолютных собственных движений (HIPPARCOS, Tycho-2, UCAC2, SPM3) и массовых всенебесных фотометрических каталогов в ближней инфракрасной области (2MASS, DENIS). Кроме того, безусловно актуальной является задача определения собственных движений шаровых звездных скоплений — наиболее репрезентативной подсистемы Галактического гало (в том смысле, что большинство объектов этого типа в Галактике уже открыто и исследовано) и анализ их трехмерной кинематики.

В области изучения строения и эволюции звезд уже несколько десятилетий стоит проблема выбора между эволюционными моделями с четкой границей между конвективным ядром и окружающей его областью лучистого переноса и моделями с так называемой проникающей конвекцией. И здесь также исследование движений звезд и скоплений (точнее зависимости их пространственного распределения от возраста) позволяет получить существенные ограничения на систему возрастов объектов и, следовательно, на характер эволюционных моделей, в рамках которых эти возрасты получаются. Более того, анализ пространственно-возрастного распределения молодых рассеянных скоплений оказывается также источником важной информации о характере процесса их образования.

И, наконец, вот уже более тысячи лет не теряет своей актуальности задача датировки и установления происхождения звездного каталога, включенного в книги VII и VIII птолемея “Альмагеста”, которая была предметом самой продолжительной и ожесточенной дискуссии в истории астрономии. Оказалось, что в этом случае собственные движения звезд “Альмагеста” оказываются тем инструментом, который позволяет решить вопрос об установлении эпохи измерений звездных координат, приведенных в каталоге.

Цели работы

- Построение взаимно согласованных фотометрических шкал расстояний молодых рассеянных скоплений, голубых, желтых и красных сверхгигантов и классических цефеид.
- Определение нуль-пунктов полученных шкал расстояний, а также нуль-пунктов шкал расстояний звездных ассоциаций и переменных типа RR Лиры.
- Исследование кинематики молодых рассеянных звездных скоплений, звездных ассоциаций, голубых и красных сверхгигантов, классических цефеид и переменных типа RR Лиры, определение пара-

метров кривой вращения Галактики и компонентов тензоров дисперсии скоростей рассматриваемых популяций.

- Получение оценок расстояний до ряда ближайших галактик, включая расстояние до центра нашей собственной Галактики.
- Анализ зависимости галактовертикального распределения молодых рассеянных скоплений и классических цефеид от возраста для выбора между моделями строения и эволюции звезд, включающих эффект проникающей конвекции, и моделями без этого эффекта, оценки средней плотности массы в окрестности Солнца, а также возможных сценариев образования скоплений.
- Датировка звездного каталога “Альмагеста” по собственным движениям для установления истинной эпохи лежащих в его основе наблюдений (выбор между эпохами Птолемея и Гиппарха).

Научная новизна

- Впервые построена взаимно-согласованная система расстояний до молодых рассеянных скоплений, звездных ассоциаций, ранних и поздних сверхгигантов и классических цефеид.
- Метод статистических параллаксов, основанный на методе максимума правдоподобия впервые применен для уточнения нуль-пунктов шкал расстояния молодых рассеянных скоплений, звездных ассоциаций и голубых сверхгигантов, что позволило получить результаты, независимые от тригонометрических параллаксов.
- Впервые с использованием однородной шкалы абсолютных звездных величин исследована зависимость период-светимость для полуправильных переменных красных сверхгигантов в Галактике и проведено ее сравнение с аналогичными зависимостями в БМО и М33. Эта зависимость впервые использована для определения расстояния и наклона БМО к картинной плоскости. Установлена бимодальность зависимости период-светимость в М33 и Галактике и определено отношение периодов основного тона и первого обертона.
- Метод статистических параллаксов впервые применен для определения нуль-пункта зависимости период-инфракрасная светимость переменных типа RR Лиры. Метод статистических параллаксов впервые применен с явным использованием бимодальной модели

распределения скоростей (без предварительного разделения объектов на подгруппы гало и толстого диска).

- Впервые анализ гактовертикального распределения молодых рассеянных скоплений используется для выбора между конкурирующими моделями звездной эволюции и для определения пространственно-скоростного распределения скоплений в момент их рождения.
- Впервые получены прямые свидетельства в пользу датировки звездного каталога “Альмагеста” эпохой Гиппарха, опирающиеся на данные о собственных движениях звезд.

Научная и практическая значимость результатов работы

Научная и практическая значимость работы связана с:

- Возможностью применения полученных результатов по уточнению шкал расстояния для уточнения постоянной Хаббла, а также возраста и космологических моделей Вселенной.
- Исползованием результатов расчета кривой вращения Галактического диска и кинематических параметров Галактического диска и гало для построения динамических моделей Галактики.
- Вытекающей из результатов работы предпочтительности моделей строения и эволюции звезд без сильного эффекта проникающей конвекции - по крайней мере для объектов, расположенных на близком к солнечному расстоянию от центра Галактики.
- Существенными ограничениями, которые результаты работы накладывают на возможные сценарии образования рассеянных скоплений в современном Галактическом диске - в момент образования скопления имеют избыточные вертикальные скорости, которые, к том уже коррелируют с расстоянием от Галактической плоскости.
- Важными следствиями для истории астрономии — полученные результаты служат важным аргументом в пользу того, что автором звездного каталога “Альмагест” был Гиппарх, а не Птолемей.

На защиту выносятся следующие результаты

1. Построены взаимно согласованные фотометрические шкалы расстояний молодых рассеянных скоплений, классических цефеид, сверхгигантов спектральных классов O-F4 и K5-M5 со среднеквадратичными ошибками индивидуальных модулей расстояний от 0.05^m (зависимости период-ИК светимость для классических цефеид) до 0.4^m (для сверхгигантов спектральных классов O и B).
2. Нуль-пункты полученных шкал расстояния определены с точностью $0.1-0.13^m$ по тригонометрическим параллаксам и методом статистических параллаксов.
3. Проведено исследование и сравнение зависимости период – ИК-светимость для полуправильных переменных красных сверхгигантов (переменных типа SRC) в Галактике, БМО и М33. По звездам БМО установлена очень малая дисперсия этой зависимости - 0.05^m и ее наклон. Установлен бимодальный характер зависимости в Галактике и М33, основная часть звезд (55 - 66%) во всех трех галактиках (в том числе и в БМО) пульсирует в первом обертоне. Определено отношение периода первого обертона к периоду основного тона для звезд в Галактике и в М33 - оно оказалось в пределах ошибок одинаковым для обеих галактик и равным 0.70 ± 0.04 .
4. По зависимости период-светимость для красных сверхгигантов определены параметры ориентации плоскости БМО относительно картинной плоскости - угол наклона и позиционный угол линии узлов: $i = 33 \pm 9^\circ$ и $PA = 162 \pm 25^\circ$. Полученные результаты хорошо согласуются с опубликованными оценками, полученными по другим объектам.
5. Исследована кинематика лирид Галактики и уточнен нуль-пункт шкалы абсолютных звездных величин лирид в полосах V и K : $\langle M_V \rangle = +1.01 + 0.15 \cdot [Fe/H] \pm 0.10$ и $\langle M_K \rangle = -2.33 \cdot \log P_F - 0.96 \pm 0.07$. По определенным значениям нуль-пунктов шкал расстояния получены оценки модуля расстояния БМО (18.3 – 18.45) и расстояния до центра Галактики ($R_0 = 7.3 - 7.9$ кпк). Определены собственные движения 92 шаровых скоплений нашей Галактики.
6. По лучевым скоростям и собственным движениям рассеянных звездных скоплений, ОВ-ассоциаций, голубых и красных сверхгигантов и классических цефеид в Галактике получена кривая вращения молодого населения Галактики и исследованы отклонения от кругово-

го вращения. Обнаружен периодический по галактоцентрическому расстоянию компонент поля скоростей молодых объектов Галактического диска с периодом 1.9 ± 0.2 кпк.

7. На основании анализа зависимости галактовертикальных координат скоплений от возраста получены верхние оценки средней локальной плотности массы $\rho_{max} = 0.118 \pm 0.006 M_{\odot}/pc^3$ и локальной плотности скрытой массы в Галактическом диске — $\rho_{DM} \leq 0.027 M_{\odot}/pc^3$.
8. Установлено наличие сильной положительной корреляции между начальными значениями галактовертикальных координат и галактовертикальных компонент скоростей рассеянных скоплений с коэффициентом корреляции $r = +0.81 \pm 0.06$.
9. На основании анализа зависимости галактовертикальных координат скоплений от возраста сделан вывод об отсутствии существенного эффекта проникающей конвекции у звезд вблизи солнечного круга.
10. На основании анализа положений звезд в каталоге Альмагест сделан вывод о том, что наблюдения, лежащие в основе каталога, были выполнены в эпоху 90 г. до н.э. ± 120 лет, что согласуется с эпохой Гиппарха и не согласуется с эпохой Птолемея.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Она изложена на 192 страницах, включает 55 таблиц и 51 рисунок. Список литературы содержит 321 наименование.

Апробация работы

Основные результаты, полученные в диссертации, неоднократно докладывались на семинарах по звездной астрономии ГАИШ МГУ, заседании Ученого совета ГАИШ МГУ, а также на следующих российских и международных конференциях:

- "The Origins, Evolutions, and Destinies of Binary Stars in Clusters" (Калгари, Канада, июнь 1995 г.)
- "Наша Галактика" (Москва, март 1996 г.)

- "Структура и эволюция звездных систем"(Петрозаводск, август 1995 г.)
- "Древняя астрономия : Небо и человек."(Москва, ноябрь 1997 г).
- JENAM-98 (Прага, Чешская республика, сентябрь 1998)
- "A Half Century of Stellar Pulsation Interpretations: A tribute to Arthur N. Cox", (Лос Аламос, США, июнь 1997 г.)
- JENAM-2000 (Москва, май 2000 г.).
- JENAM-2002 (Порту, Португалия, сентябрь 2002 г.)
- 'The interaction of stars with their environment II.'. (Будапешт, Венгрия, май 2002 г.)
- «Star candles for intergalactic distance scale». (Консепсьон, Чили, декабрь 2002 г.)
- IAU Colloquium 193 "Variable Stars in the Local Group"(Крайсчерч, Новая Зеландия, июль 2003 г.).
- JENAM-2004 (Гранада, Испания, сентябрь 2004 года).
- The Gaia Symposium "The Three-Dimensional Universe with Gaia"(Медонская обсерватория, Франция, октябрь 2004 г.).
- Всероссийская астрономическая конференция "Звездные системы"(к 100-летию Павла Петровича Паренаго). (Москва, май 2006 г.)
- "Statistical Challenges in Modern Astronomy IV"(Пенсильванский университет, США, июнь 2006 г.)
- «BAYESIAN INFERENCE AND MAXIMUM ENTROPY METHODS IN SCIENCE AND ENGINEERING: 27th International Workshop on Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering ». (Саратога Спрингс, США, июнь 2007 г.)
- Симпозиум "Flows, boundaries, and interactions", (Синайя, Румыния, май 2007 г.)

Содержание работы

Во введении дается общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, формулируются цели, обосновывается научная новизна работы, а также ее научная значимость, и формулируются выносимые на защиту положения.

Первая глава посвящена построению фотометрических шкал расстояния наиболее важных представителей молодого населения Галактического диска — молодых рассеянных скоплений, голубых, желтых и красных сверхгигантов и классических цефеид — и оценкам нуль-пунктов этих шкал на основе данных о тригонометрических параллаксах. Кроме того, в этой главе дается краткое описание процедуры определения расстояний до звездных ассоциаций (на основе опубликованных калибровок абсолютных величин сверхгигантов в зависимости от спектрального класса и класса светимости) и переменных типа RR Лиры (на основании зависимостей металличность-оптическая светимость или период-инфракрасная светимость). На основании опубликованных данных фотоэлектрической и ПЗС UVV фотометрии определяются расстояния (опирающиеся на НПП Холопова (1980)), возрасты (в соответствии с набором теоретических изохрон Медера и Мейне (1991)) и величины межзвездного поглощения для 203 молодых рассеянных скоплений нашей Галактики. Далее последовательно строятся взаимно-согласованные шкалы расстояний для сверхгигантов спектральных классов O - A3, A4 - F3 и K5 - M5, исследуется закон межзвездного поглощения для классических цефеид нашей Галактики и по цефеидам-членам рассеянных скоплений определяются параметры зависимости период - абсолютная величина в фотометрических полосах $UBVR_J R_C I_J I_C JHK$, опирающиеся на построенную шкалу расстояний рассеянных звездных скоплений. Шкала расстояний для ранних (O - F3) сверхгигантов опирается на фотометрические индексы в системе $uvby\beta$, а калибровки абсолютных звездных величин калибровки для красных сверхгигантов (K5 - M5) - на фотометрические индексы в 8-цветной инфракрасной узкополосной фотометрической системе Винга (1971). Тригонометрические параллаксы HIPPARCOS используются для оценки нуль-пунктов полученных в данной работе фотометрических шкал расстояний рассеянных скоплений, голубых и красных сверхгигантов и классических цефеид. Завершается первая глава исследованием зависимости период-ИК-светимость ($\lg P - \langle M_K \rangle$) для полуправильных переменных красных сверхгигантов (звезд типа SRC) в БМО, Галактике и M33. По данным для переменных красных сверхгигантов в БМО выделена основная зависимость (соответствующая первому обертому) и определен ее наклон. Корреляция остаточных отклонений с положени-

ем звезд на небе позволила уточнить эту зависимость и оценить параметры ориентации плоскости БМО относительно картинной плоскости - угол наклона и позиционный угол линии узлов, которые находятся в согласии с результатами, полученными другими авторами и по другим объектам. По абсолютным звездным величинам переменных типа SRC в Галактике (определенным по фотометрическим индексам в системе Винга) установлен бимодальный характер зависимости период-светимость для этих звезд, определен нуль-пункт основной зависимости (соответствующей первому обертону) и отношение периода первого обертона к периоду основного тона. Исследование зависимости период-светимость для переменных типа SRC в M33 выявило ее бимодальный характер и в этой галактике. При этом отношение периода первого обертона к периоду основного тона для звезд этой галактике оказалось в пределах ошибок равным таковому в нашей Галактике.

Вторая глава посвящена анализу кинематики популяции переменных звезд типа RR Лиры в широких солнечных окрестностях и получению независимой от тригонометрических параллаксов оценки нуль-пункта шкалы расстояния (точнее, нуль-пункты зависимостей металличность-светимость — $[Fe/H]-M_V$ и период-ИК светимость — $\lg P - M_K$) для этих объектов. Для этого используется метод статистических параллаксов и опубликованные данные о лучевых скоростях и высокоточных абсолютных собственных движениях, причем одним из искомым параметров является поправочный коэффициент к принятой исходной шкале расстояний. Полученные нуль-пункты зависимостей металличность-светимость (в полосе V) и период-светимость (в полосе K) полностью согласуются с результатами, которые дает применение метода Бааде-Весселинка (Джонс и др. 1992). Благодаря рекордному объему кинематической выборки (которая содержит 378 объектов, что почти в два раза больше, чем самые представительные выборки лирид, ранее использованные другими авторами для этих целей) удалось исследовать зависимость светимости лирид от металличности на основе исключительно кинематически определенных нуль-пунктов шкал расстояния, обеспечив тем самым независимое подтверждение результатов, полученных методом Бааде-Весселинка. Кроме того, благодаря большому объему выборки удалось получить решение в рамках явно заданной модели бимодального распределения скоростей лирид без априорного отнесения конкретных звезд в популяции толстого диска или гало и снизить случайную ошибку определения нуль-пункта зависимости период-ИК лирид светимость до 0.07^m , что более, чем в 1.5 раза меньше погрешностей, достигнутых в исследованиях других авторов (например, Лейден и др. 1996). Получена оценка расстояния от Солнца до центра Галактики (центра Галак-

тического балджа) — 7.4—7.9 кпк. Кроме того, определены компоненты средней скорости движения локальной популяции лирид гало и толстого диска относительно Земли и компоненты тензора дисперсии скоростей для этих двух популяций. Установлено отсутствие (на уровне случайных ошибок полученных параметров) вращения популяции лирид гало относительно центра Галактики. По звездам каталога UCAC2 - членам шаровых скоплений определены средние собственные движения для 92 шаровых скоплений нашей Галактики и выполнен предварительный анализ трехмерной кинематики этой популяции.

Третья глава посвящена исследованию кинематики объектов галактического диска на основании данных о лучевых скоростях и собственных движениях рассматриваемых объектов и уточнению нуль-пунктов их шкал расстояния методом статистического параллакса. Построена кривая вращения Галактики в интервале Галактоцентрических расстояний от 2 до 14 кпк и определены основные ее локальные параметры — угловая скорость вращения Ω_0 в окрестностях Солнца, постоянная Оорта A и вторая производная угловой скорости вращения, Ω_0'' , а также расстояние от Солнца до центра Галактики, R_0 . Определены также компоненты тензора дисперсии скоростей σ_u , σ_v и σ_w для ряда популяций объектов Галактического диска (молодых рассеянных скоплений, ОВ-ассоциаций, голубых сверхгигантов), которые четко коррелируют со средним возрастом объектов: наименьшие значения дисперсии скоростей получены для самой молодой из рассматриваемых популяций - ОВ-ассоциаций, а наибольшие - для самой старой — классических цефеид. Установлено наличие компонента некруговых движений в Галактическом диске в виде периодической составляющей по галактоцентрическому расстоянию с периодом около 2 кпк. Оценки R_0 и Ω_0 согласуются с оценкой средней скорости лирид гало относительно локального стандарта покоя, $R_0 \cdot \Omega_0 \sim V_{rot}(halo RR Lyr)$.

В четвертой главе полученные калибровки нормальных показателей цвета и абсолютной звездной величины для рассматриваемых объектов (с нуль-пунктами, уточненными с использованием тригонометрических параллаксов HIPPARCOS и методом статистических параллаксов) для сверхгигантов O - F3, классических цефеид и переменных типа RR Лиры используются для оценки модуля расстояния БМО. Кроме того, модуль расстояния БМО оценивается путем сравнения параметров зависимости период-светимость для полуправильных пульсирующих красных сверхгигантов (переменных типа SRC) в галактике и в БМО, а путем сравнения параметров соответствующих зависимостей для переменных типа SRC в нашей Галактике и в М33 получена оценка расстояния М33. Полученные в главах 1—3 поправки к нуль-пунктам шкал расстояния

используются для уточнения расстояния до центра Галактики. Полученные оценки модуля расстояния БМО (заключенные в интервале 18.25–18.45^m) и расстояния до центра Галактики ($R_0 = 7.4\text{--}8.0$ кпк) согласуются с независимыми определениями соответствующих параметров (Эйзенхауер и др. 2003) и свидетельствуют в пользу короткой шкалы расстояний. Многоцветная зависимость период-светимость (с привязкой к среднему значению оценок модуля расстояния БМО — $\langle DM_{LMC} \rangle = 18.35^m$) для классических цефеид используются для определения расстояний до ряда ближайших галактик и оценки постоянной Хаббла. Последние варьируются от 73 км/с/кпк (калибровка абсолютных звездных величин сверхновых типа Ia в максимуме блеска) до 86 км/с/кпк (калибровка параметров фундаментальной плоскости для эллиптических галактик) и таким образом однозначно свидетельствуют в пользу короткой шкалы расстояний.

Предметом пятой главы является анализ зависимости галактовертикальных координат (в направлении, перпендикулярном Галактической плоскости) молодых рассеянных звездных скоплений и классических цефеид от их возраста. Выявлен немонотонный, волнообразный характер зависимости среднеквадратичной полутолщины “слоя” рассеянных скоплений от возраста, аналогичный тому, что ранее был обнаружен для классических цефеид (Йывеер, 1977). Эти колебания интерпретируются как следствие динамической неравновесности в вертикальном направлении популяции вновь народившихся скоплений и звезд, что позволяет связать их параметры — а они, в частности, зависят от моделей звездной эволюции, лежащих в основе принятых возрастов скоплений, — с плотностью вещества в Галактическом диске и начальными положениями и скоростями скоплений в момент их образования. На основании анализа параметров этих колебаний (периода, начальной фазы и амплитуды) делается вывод об отсутствии у звезд, расположенных вблизи солнечного круга, существенных проявлений эффекта проникающей конфекции — по видимому, предпочтение следует отдавать классическим моделям. Кроме того, полученные результаты свидетельствуют о вертикальной “перегретости” “слоя” только что народившихся скоплений и звезд и существенной положительной корреляции между начальным расстоянием скопления от Галактической плоскости и начальной величиной вертикальной компоненты скорости скопления в момент его образования, что служит аргументом в пользу сценария, в котором звездообразование в Галактическом диске стимулируется падением на него высокоскоростных газовых облаков. Получена верхняя оценка для локальной плотности массы свидетельствующая в пользу отсутствия существенной плотности скрытой массы в окрестности Солнца (она не превосходит $0.027 M_{\odot}/pc^3$).

В шестой главе звездные движения (собственные движения звезд) используются как инструмент датировки звездного каталога, включенного в книги VII и VIII Птолемея "Альмагеста" (Птолемей, 1998) и тем самым как средство установления его происхождения. Главное достоинство собственных движений по сравнению с другими инструментами датировки "Альмагеста" состоит в том, что они были неизвестны до начала 18 века, когда Эдмунд Галлей обратил внимание, что эклиптические широты Сириуса, Арктура и Альдебарана отличаются более, чем на полградуса от тех, что приведены в "Альмагесте". Для датировки каталога используются два метода. Это, во-первых, предложенный Ефремовым и Павловской (1989) метод согласования вычисленных взаимных расстояний в группах, состоящих из "быстрой" звезды (то есть, звезды с большим собственным движением) и нескольких ее ближайших соседей, с соответствующими взаимными расстояниями, определенными согласно положениям звезд, приведенным в каталоге "Альмагеста". И, во-вторых, разработанный автором "коллективный" метод, когда "медленные" звезды каталога Альмагеста (то есть звезды с малыми собственными движениями) используются для определения средних локальных поправок приведенных в каталоге координат, а отклонения исправленных с использованием этих поправок координат "быстрых" звезд от их расчетных значений используются для оценки эпохи каталога по большому количеству "быстрых" звезд, разбросанных по всему небу. Полученный результат позволяет с высокой степенью достоверности отвергнуть птолемею авторство измерений положений звезд, свидетельствуя в пользу того, что приведенные в каталоге координаты звезд были на самом деле измерены более чем за два века до Птолемея в эпоху, близкую к времени жизни Гиппарха.

В заключении приведены основные результаты и сформулированы выводы диссертации.

Список опубликованных работ

1. А.К.Дамбис. Калибровка нормальных показателей цвета $(b - y)_0$ и абсолютных звездных величин M_V голубых сверхгигантов по данным $uvby\beta$ фотометрии // *Письма в Астрон. журн.* 1990. Т. 16. С. 522 - 529.
2. А.К.Дамбис. Калибровка нормальных показателей цвета $(b - y)_0$ и абсолютных звездных величин M_V сверхгигантов спектральных классов A4-F3 по данным $uvby\beta$ фотометрии по данным $uvby\beta$ фотометрии // *Письма в Астрон. журн.* 1991. Т. 17. С. 726 - 731.

3. А.К.Дамбис. Зависимость период-светимость в полосе К для полуправильных пульсирующих переменных сверхгигантов в Галактике и М33 // *Письма в Астрон. журн.* 1993. Т. 19. С. 443 - 449.
4. А.К.Дамбис, А.М.Мельник, А.С.Расторгуев. Кривая вращения системы классических цефеид и расстояние Солнца от центра Галактики // *Письма в Астрон. журн.* 1995. Т.21. С. 331 - 347.
5. Л.Н.Бердников, О.В.Возякова, А.К.Дамбис. Параметры кривых блеска классических цефеид в полосах JHK и закон межзвездного поглощения // *Письма в Астрон. журн.* 1996. Т.22. С. 372 - 385.
6. Л.Н.Бердников, О.В.Возякова, А.К.Дамбис. Зависимость Период-Светимость для классических цефеид Галактики в полосах BVRIJK // *Письма в Астрон. журн.* 1996. Т.22. С. 936 - 944.
7. А.М.Мельник, Т.Г.Ситник, А.К.Дамбис, Ю.Н.Ефремов, А.С.Расторгуев. Кинематические свидетельства волновой природы спирального рукава Стрельца-Киля // *Письма в Астрон. журн.* 1998. Т. 24. С. 689 - 698.
8. А.К.Дамбис. Пространственно-возрастное распределение молодых звездных скоплений и наблюдательная селекция // *Письма в Астрон. журн.* 1999. Т. 25. No. 1. С. 10-17.
9. А.М.Мельник, А.К.Дамбис, А.С.Расторгуев. Периодическая структура поля пространственных скоростей цефеид и спиральные рукава Галактики // *Письма в Астрон. журн.* 1999. Т. 25. No. 8. С. 602-610.
10. А.С.Расторгуев, Е.В.Глушкова, А.К.Дамбис, М.В.Заболоцких. Статистические параллаксы и кинематические параметры классических цефеид и молодых рассеянных скоплений // *Письма в Астрон. журн.* 1999. Т. 25. No. 9. С. 689-703.
11. А.К.Дамбис, А.М.Мельник, А.С.Расторгуев. Тригонометрические параллаксы и кинематически согласованная шкала расстояний до OB-ассоциаций // *Письма в Астрон. журн.* 2001. Т. 27. No. 1. С. 68-75.
12. А.К.Дамбис, А.С.Расторгуев. Абсолютные величины и кинематические параметры подсистемы переменных типа RR Лиры // *Письма в Астрон. журн.* 2001. Т. 27. No. 2. С. 132-143.

13. А.М.Мельник, А.К.Дамбис, А.С.Расторгуев. Периодическая структура поля остаточных скоростей OB-ассоциаций // *Письма в Астрон. журн.* 2001. Т. 27. No. 8. С. 611-624.
14. Заболотских М.В., Расторгуев А.С., Дамбис А.К. Кинематические параметры молодых подсистем и кривая вращения Галактики // *Письма в Астрон. журн.* 2002, Т. 28. С. 454—464.
15. Yu.N.Mishurov, I.A.Zenina, A.K.Dambis, A.M.Mel'nik, A.S.Rastorguev. Is the Sun located near the corotation circle? // *Astron. Astrophys.* 1997. V. 323. P. 775 - 780.
16. E.V.Glushkova, A.K.Dambis, A.M.Mel'nik, and A.S.Rastorguev. Investigation of the kinematics of young disk populations // *Astron. Astrophys.* 1998. V. 329. P. 514 - 521.
17. Berdnikov, L. N., Dambis, A. K., Vozyakova, O. V., Galactic Cepheids. Catalogue of Light-Curve Parameters and Distances // *Astron. Astrophys. Suppl.* 2000. V. 143. P. 211-213.
18. Dambis, A. K., Efremov, Yu. N. Dating Ptolemy's star catalogue through proper motions : the Hipparchan epoch // *J. Hist. Astr.* 2000. V. 31.P. 115-134.
19. L.N.Berdnikov, A.K.Dambis, O.V.Vozyakova. Period-Luminosity Relation for Classical Cepheids. Estimating the Intrinsic Scatter // *Astrophys. Sp. Sci.* 1997. V. 252. P. 473 - 476.
20. A.K.Dambis. The luminosities of red supergiants from Wing's eight-color narrow-band infrared photometry // *Astron. Astrophys. Trans.* 1993. V. 3. P. 303 - 309.
21. L.N.Berdnikov, O.V.Vozyakova, and A.K.Dambis. Multicolor Period-Luminosity Relation for Classical Cepheids // *Astron. Astrophys. Trans.* 1998. V. 15. P. 75 - 79.
22. E.V.Glushkova, A.K.Dambis, A.S.Rastorguev. Galactic Rotation Curve // *Astron. Astrophys. Trans.* 1999. V. 18. No. 1. P. 349-366.
23. Mel'nik A.M., Dambis A.K., Rastorguev A.S.) Periodic Pattern in the Residual Velocity Field of OB-Associations // *Astron. Astrophys. Trans.* 2001. V.20. p.107—110.

24. Dambis A.K., Glushkova E.V., Mel'nik A.M., Rastorguev A.S. The Distance Scale and the Rotation Curve of Young Supergiants and Open Clusters // *Astron. Astrophys. Trans.* 2001. V.20, p.161-164.
25. Dambis, A. K. Absolute proper motions of globular clusters // *Astron. Astrophys. Trans.* 2006. V. 25, Issue 2, p.185-188.
26. А.К.Дамбис, Ю.Н.Ефремов. Датировка каталога Птолемея по собственным движениям: тысячелетняя проблема решена // *Историко-астрономические исследования.* 2001. Вып. XXV. С. 7-25.
27. А.К.Дамбис. Зависимость $\lg(P_0) - \langle K_0 \rangle$ для красных сверхгигантов - переменных типа SRC в БМО // *Астрон. Цирк.* 1990. No. 1545. С. 17 - 18.
28. А.К.Дамбис. Зависимость $\lg(P_0) - \langle K_0 \rangle$ для переменных типа SRC в ассоциации Per OB1 и модуль расстояния БМО // *Астрон. Цирк.* 1990. No. 1545. С. 19 - 20.
29. А.К.Дамбис. Наклон БМО и зависимость $\lg(P_0) - \langle K_0 \rangle$ для переменных типа SRC // *Астрон. Цирк.* 1990. No. 1546. С. 19 - 20.
30. E.V.Glushkova and A.K.Dambis. The Absolute Proper Motions and Distances of the Young Open Cluster System // *The Origins, Evolutions, and Destinies of Binary Stars in Clusters*, Eds. E.F.Milone and J.-C.Mermilliod. *ASP Conference Series.* 1996. V. 90. P. 477 - 478.
31. L.N.Berdnikov, A.K.Dambis, Yu.N.Efremov, A.M.Mel'nik, A.S.Rastorguev, O.V.Vozyakova, and D.G.Turner. The Distribution and Kinematics of Classical Cepheids in the Galaxy // *A Half Century of Stellar Pulsation Interpretations: A tribute to Arthur N. Cox.* Editors P.A.Bradley and J.A.Guzik. Proceedings of a Conference held in Los Alamos, New Mexico 16-20 June 1997. *ASP Conference Series* 1998. No. 135. P. 373-374.
32. Dambis A. K. Age dependence of the vertical distribution of Cepheids, Variable Stars in the Local Group, IAU Colloquium 193, Proceedings of the conference held 6-11 July, 2003 at Christchurch, New Zealand. Edited by Donald W. Kurtz and Karen R. Pollard // *ASP Conference Proceedings*, 2004. V. 310, p. 158–161. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific
33. Dambis A. K., Vozyakova O. V. The kinematics and zero point of the $\log P - M_K$ relation for galactic field RR Lyrae variables via statistical parallax // *Variable Stars in the Local Group*, IAU Colloquium 193,

Proceedings of the conference held 6-11 July, 2003 at Christchurch, New Zealand. Edited by Donald W. Kurtz and Karen R. Pollard// *ASP Conference Proceedings*, 2004. V. 310, p. 128–132. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific

34. Rastorguev A. S., Zabolotskikh M. V., Dambis A. K. Rotation Curve and Kinematic Properties of Young Disk Populations // *EAS Publications Series* 2003. V. 10, Galactic and Stellar Dynamics, Proceedings of JENAM 2002, held in Porto, Portugal, 3-6 September, 2002. Edited by C. M. Boily, P. Patsis, S. Portegies Zwart, R. Spurzem and C. Theis, pp.223–225.
35. Dambis A. K. Age Dependence of the Vertical Distribution of Young Open Clusters // *EAS Publications Series* 2003. V. 10, pp. 147–152, Galactic and Stellar Dynamics, Proceedings of JENAM 2002, held in Porto, Portugal, 3-6 September, 2002. Edited by C. M. Boily, P. Patsis, S. Portegies Zwart, R. Spurzem and C. Theis
36. Dambis A. K. The $\log P - \langle M_K \rangle$ Relation of Galactic Field RR Lyrae Variables// *EAS Publications Series*, 2003. V. 10, pp. 55–60, Galactic and Stellar Dynamics, Proceedings of JENAM 2002, held in Porto, Portugal, 3-6 September, 2002. Edited by C. M. Boily, P. Patsis, S. Portegies Zwart, R. Spurzem and C. Theis
37. Zabolotskikh M. V., Rastorguev A. S., Dambis A. K. Kinematic Properties of Young Subsystems and the Rotation Curve of our Galaxy. Communications of the Konkoly Observatory, Hungary. Proceedings of the conference: 'The interaction of stars with their environment II.', held at the Eotvos Lorand University, Budapest, Hungary, May 15-18, 2003; editors: Cs. Kiss, M. Kun, V. Konyves, pp. 167-172, 2003.
38. Rastorguev A. S., Dambis A. K., Zabolotskikh M. V., 2005, Proceedings of the Gaia Symposium "The Three-Dimensional Universe with Gaia" (ESA SP-576). Held at the Observatoire de Paris-Meudon, 4-7 October 2004. Editors: C. Turon, K.S. O'Flaherty, M.A.C. Perryman.
From http://www.rssd.esa.int/index.php?project=Gaia&page1=Gaia_2004_Proceedings, supercedes printed version, p.707
39. Jefferys T. R., Barnes T.G., Dambis A., Jefferys W.H. Bayesian Analysis of RR Lyrae Luminosities and Kinematics // BAYESIAN INFERENCE AND MAXIMUM ENTROPY METHODS IN SCIENCE AND ENGINEERING: 27th International Workshop on Bayesian Inference and Maximum

Entropy Methods in Science and Engineering *AIP Conference Proceedings*, 2007. V. 954, pp. 315-321

40. Jefferys T. R., Jefferys W. H., Barnes T. G., III, and Dambis A. Bayesian Analysis of RR Lyrae Luminosities and Kinematics // Statistical Challenges in Modern Astronomy IV. *ASP Conference Series*, 2007. V. 371, p. 433. Proceedings of the conference held 12-15 June 2006 at Pennsylvania State University, in University Park, Pennsylvania, USA. Edited by G. Jogesh Babu and Eric D. Feigelson
41. Rastorguev A. S., Berdnikov L. N., Samus N. N., Gorynya N. A.; Sachkov M. E., Dambis A. K., Zabolotskikh M. V. The Moscow Program of Cepheid Investigations. FLOWS, BOUNDARIES, INTERACTIONS: Flows, Boundaries, and Interaction Workshop. *AIP Conference Proceedings*, 2007. V. 934, pp. 188-194
42. Ю.Н.Мишуров, И.А.Зенина, А.К.Дамбис, А.М.Мельник, А.С.Расторгуев. Располагается ли Солнце в коротации? Proceedings of the International Conference "Structure and Evolution of Stellar Systems", Petrozavodsk, Karelia, Russia. 13 - 17 August 1995. St.-Petersburg 1997. pp. 148 - 150.
43. А.К.Дамбис, Ю.Н.Ефремов, О.В.Дурлевич. Датировка эпохи наблюдения звезд каталога "Альмагест" по собственным движениям. Труды конференции Древняя астрономия: Небо и человек. Москва, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, 19-24 ноября 1997 года. Москва 1998. С. 78 - 82.
44. Расторгуев А.С., Дамбис А.К. Шкала расстояний во Вселенной. Российская наука на заре нового века. Москва: Научный Мир, Природа, с. 105—117, 2001.
45. Дамбис А.К., Ефремов Ю.Н. Датировка звездного каталога Птолемея по собственным движениям. Астрономия древних обществ, М.: Наука, 2002 , С.295-300.

Личный вклад автора

В работах, выполненных с соавторстве, автору диссертации принадлежит равный с соавторами вклад в проведение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винг (Wing R.F.) *Contr. Kitt Peak Obs.* 1971. No.554. P.145.
2. Горыня Н.А., Ирсамбетова Т.Р., Расторгуев А.С., Самусь Н.Н. // *Письма в Астрон. журн.* 1992. Т.18. С.777.
3. Грассхофф (Grasshoff G.) // *The history of Ptolemy's star catalogue.* N.Y., 1990.
4. ЕКА // *The Hipparcos and Tycho Catalogues.* European Space Agency. V. 1-20, 1997.
5. Джонс и др. (Jones R.V., Carney B.W., Storm J., Latham D.W.) *Astrophys. J.* 1992, V. 386, 646.
6. Ефремов Ю.Н., Павловская Е.Д. *Историко-астрономические исследования.* 1989. Вып. XXI. С. 175.
7. Жирар и др. (Girard T.M., Dinescu D.I., van Altena. W.F., Platais I., Monet D.G., Lopez C. E.) // *Astron. J.* 2004, V. 127, pp. 3060–3071.
8. Захариас и др. (Zacharias N., Urban S. E., Zacharias M. I., Wycoff G. L., Hall D. M., Monet D. G., Rafferty T. J.) // *Astrophys. J.* 2004. V. 127. P. 3043
9. Катри и др. (Cutri R. M., Skrutskie M. F., van Dyk S., Beichman C. A., Carpenter J. M., Chester T., Cambresy L., Evans T., Fowler J., Gizis J., Howard E., Huchra J., Jarrett T., Kopan E. L., Kirkpatrick J. D., Light R. M., Marsh K. A., McCallon H., Schneider S., Stiening R., Sykes M., Weinberg M., Wheaton W. A., Wheelock S., Zacarias N.) // *The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog*, NASA/IPAC Infrared Science Archive. 2003. <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/Gator/>
10. Кьози (Chiosi C.) // *Convection in Astrophysics*, Proceedings of IAU Symposium No. 239 held 21-25 August, 2006 in Prague, Czech Republic. /Eds. F. Kupka, I. Roxburgh, and K. Chan, 2007, P. 235.
11. Лейден и др. (Layden A.C., Hanson R.B., Hawley S.L., Klemola A.R., and Hanley Ch. J.) // *Astron. J.* 1996, V.112, P.2110.
12. Маррей К.А. (Murray C.A.) // *Vectorial Astrometry.* 1983. Bristol: A.Hilger

13. . Медер и Мейне (Maeder A., Meynet G.). *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1991. V. 89. P. 451.
14. Пьетринферни и др. (Pietrinferni A., Cassisi S., Salaris M., Castelli F.) *Astrophys. J.* 2004. Vol. 612. P. 168
15. Птолемей К. *Альмагест*. М. Наука. 1998.
16. Хог и др. (Hog E., Fabricius C., Makarov V. V., Urban S., Corbin T., Wysoff G., Bastian U., Schwekendiek P., Wicenec A.) *Astron. Astrophys.* 2000. V. 355. P. L27
17. Холопов П.Н. // *Астрон. журн.* 1980. Т. 57. С. 12.
18. Эйзенхауер и др. (Eisenhauer F., Schodel R., Genzel R., Ott T., Tecza M, Abuter R., Eckart A., Alexander, T.) *Astrophys. J.* 2003. V597, L121.