РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ

На правах рукописи

Шахт Наталия Андреевна

АСТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗБРАННЫХ БЛИЗКИХ ЗВЕЗД С ПРЕДПОЛАГАЕМЫМИ НЕВИДИМЫМИ СПУТНИКАМИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В ПУЛКОВЕ

Специальность 01.03.01
Астрометрия и небесная механика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

Санкт-Петербург
2002

Работа выполнена в Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук,
профессор В.С.Губанов
доктор физико-математических наук,
профессор Г.И.Пинигин
доктор физико-математических наук,
профессор Д.Д.Положенцев

Ведущая организация:
Государственный Астрономический
институт им.П.К.Штернберга, Москва

Защита состоится "______" ________________ 2002 г.
в____ часов ____ мин. на заседании диссертационного совета Д002.067.01 в Институте прикладной астрономии РАН по адресу: 191187 С.Петербург, наб. Кутузова 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института прикладной астрономии РАН

Автореферат разослан "____" ________________ 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук З.М.Малкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Настоящая работа представляет собой исследование движения избранных близких звезд с имеющимися или предполагаемыми маломассивными невидимыми спутниками, выявляемыми на основе долговременных рядов фотографических наблюдений по гравитационному воздействию на звезду.

Основа соответствующих работ в Пулкове была заложена руководителями пулковской школы фотографической астрометрии и звездной астрономии С.К.Костинским и А.Н.Дейчем.

Актуальность данной тематики, связанная со стремлением решения вопроса о наличии планетных систем у звезд, с выявлением кратных звездных систем, а также с обнаружением темной материи и скрытой массы в различных ее проявлениях, в настоящее время приобрела еще большее значение в связи с быстро развивающимися отраслями астрономии, уже обогатившими науку открытиями субзвездных объектов (коричневых карликов), протопланетной материи и, наконец, планетоподобных тел, вращающихся вокруг звезд и обнаруженных по возмущениям в движении звезды.

Можно вкратце перечислить основные проблемы астрономии, связанные с обнаружением невидимых спутников у звезд.
К ним относятся:

1) поиски, открытия и изучение звезд, имеющих планетоподобные спутники, а также эмпирические и статистические исследования частоты появления или распространения во Вселенной планетных систем и изучение их параметров, (см., например, [1] и [2]),

2) понимание процессов звездообразования и формирования пла-

нет на определенных стадиях звездной эволюции, изучение протопланетных дисков вокруг звезд (см., например, [3]), а также :

3) оценки верхних пределов масс планет и нижних пределов масс звезд, выводы относительно природы и существования коричневых карликов, т.е. объектов с промежуточной массой, которая меньше необходимой для ядерных реакций, поддерживающих собственную светимость звезды (см., например, [4]),

4) проблема существования планет в системах двойных звезд, возможные внешние и внутренние орбиты этих планет (см. например, [5]).

Наряду с этим представляют большой интерес исследования, связанные с вопросами обнаружения скрытой массы.

К ним можно отнести :

5) распределение в пространстве маломассивных объектов с массами менее 0.2 массы Солнца. Обнаружение их имеет большое значение для определения калибровочных точек в нижней части главной последовательности или диаграммы масса– светимость, так как благодаря малой светимости и небольшому количеству, эти объекты, как отмечается в ряде работ (см., например, [6]), недостаточно изучены.

Другим аспектом изучения скрытой массы является:

6) определение звездной плотности в окрестностях Солнца и в диске Галактики, а также распределение скрытой массы в темном гало нашей Галактики и в других галактиках, (см., например, [7]).

7) Важную роль в настоящее время играет также вопрос кратности звезд в связи с большим количеством положений звезд, полученных на основе космических наблюдений, составлением каталогов и решением ряда задач звездной астрономии.

Мы условно отнесли главные вопросы обнаружения невидимых объектов , а также темных спутников у звезд к приведенным выше пунктам . На самом деле существует очень большое многообразие работ, относящихся к данной теме. Во всяком случае приведенные данные характеризуют связанные с нашей работой проблемы как чрезвычайно **актуальные.**

К астрометрическим наблюдениям звезд с невидимыми спутниками до недавних пор относились наблюдения их положений и движений, проводимые целенаправленно фотографическим путем с помощью длиннофокусных астрографов методами, неоднократно описываемыми в астрономической литературе (см. например, [8–11]). Несмотря на то, что сейчас для решения этих задач применяется большое количество разнообразных методов, в том числе, и наблюдения с помощью космических аппаратов, основным инициатором этих наблюдений явилась в свое время наземная астрометрия, и, в частности, фотографическая астрометрия. Выполненные с помощью фотографических наблюдений исследования и полученные в течение многих лет однородные ряды сохранили свою актуальность в качестве рядов сравнения с наблюдениями другого рода, а также в качестве материала, пригодного для выявления спутников с достаточно длительными периодами обращения (до нескольких десятков лет).

Круг исследований, выполненных в рамках настоящей диссертационной работы, непосредственно связан с решением проблем, перечисленных в пунктах **1, 3, 4, 6** что и определяет **актуальность** темы диссертации.

Цели, задачи и методы исследования

В наиболее общей формулировке, **целью** работы было создание на длиннофокусном астрографе однородных, плотных и высокоточных рядов фотографических наблюдений близких звезд с предполагаемыми невидимыми спутниками и исследование влияния спутников на движение этих звезд.

В работе предполагалось определение собственных движений и параллаксов исследуемых звезд, а также орбит двойных звезд для анализа возможного периодического хода в невязках О-С, вызываемого влиянием спутника на прямолинейное движение одиночной звезды или на относительное орбитальное движение двойной звезды.

В работе предполагалось исследование некоторых методов математического спектрального анализа для уточнения их наиболее оптимального применения в конкретных случаях и для конкретных объектов – звезд с темными спутниками.

Одной из целей данной работы было исследование автоматического измерительного комплекса (АИК) "Фантазия" применительно к конкретным рядам наблюдений звезд и разработка методики измерений и обработки.

В работе методами моделирования и тестирования предполагалось также оценить возможности пулковских наблюдательных рядов для выявления спутников соответствующих масс и периодов в зависимости от протяженности и точности конкретного ряда.

В работе были использованы следующие **методы исследования**:

1) фотографические наблюдения избранных звезд с помощью длиннофокусного астрографа;

2) использование высокоточного измерительного комплекса АИК "Фантазия" для измерений астронегативов;

3) получение относительных координат исследуемых звезд с наиболее точной редукцией, с контролем точности отдельных пластинок и назначением соответствующих весов при определении кинематических и динамических параметров;

4) применение методов математического спектрального анализа для этих звезд, исследования разностей О–С, определение орбит двойных звезд с контролем по отдаленным по времени наблюдениям и исследование получаемых разностей О–С.

Круг конкретных задач, решаемых в рамках диссертационной работы, выглядел следующим образом:

1. Наблюдения на $26''$ рефракторе выбранных звезд с достаточно плотным распределением по времени.

2. Измерение и обработка. Составление компьютерных программ для обработки и моделирования.

3. Сравнение систем визуальных и автоматических измерений на всех этапах исследования, начиная от оценки внутренней и внешней точности и кончая вычислением параметров движения для исследуемых звезд и орбит исследуемых двойных звезд по измерениям в этих двух системах.

4. Выявление периодических составляющих в движениях звезд, сравнение их с контрольным объектом. Оценка возможности альтернативного объяснения периодического хода О-С, а именно их негравитационного характера.

5. Оценка нижнего предела масс выявленных спутников.

6. Оценка пределов возможностей и перспектив фотографических наблюдений в Пулкове для решения задач, поставленных в диссертации, а также для обработки других рядов наблюдений.

Общий результат работы

В диссертации представлен и проанализирован фотографический материал
для пяти объектов программы, представляющий собой 550 пластинок, полученных на 26″ рефракторе в 1961–1999 г.г.

Кроме того, дополнительно, совместно с автором настоящей диссертации, сотрудником ГАО Д.Л. Горшановым было произведен анализ ряда наблюдений на 26″ рефракторе звезды 61 Лебедя, измеренной в настоящее время на автоматичекой машине "Фантазия".

Результаты анализа данных наблюдений позволили выделить две звезды с достаточно уверенно определяемыми невидимыми компонентами: ADS 5983 (δ Gem), и Глизе 623 ($AC48^o1595/1589$), а также предположить наличие двух планетоподобных спутников у звезды ADS 11632 .

Кроме того, были заложены первые эпохи астрометрических наблюдений звезды 51 Пегаса и был решен вопрос об отсутствии спутников с выделенным диапазоном масс и периодов у этой звезды, а также у звезды Лаланд 21185.

Научная новизна

В диссертации представлены следующие новые результаты:

– Впервые были получены в единой системе фотографических наблюдений на пулковском 26″ рефракторе длинные, плотные и однородные ряды положений избранных близких звезд, объединенные одной задачей, а именно наблюдениями с целью обнаружения гравитационного влияния невидимого спутника.
При этом 28–летний ряд астрометрических наблюдений с дифракционной решеткой ADS 5983 (δ Gem), состоящий из 104 пластинок (около 1000 отдельных положений) двойной звезды с компонен-

тами разной яркости, не имеет аналогов по протяженности, по однородности и по точности фотографических наблюдений.

– Впервые была поставлена и целенаправленно решена задача внедрения автоматического измерительном комплексе "Фантазия" в процесс обработки фотографического материала, накопленного за долгие годы и представляющего собой наблюдения двойных и одиночных звезд с невидимыми спутниками по пулковской программе .

– Автором диссертации впервые на основе фотографических наблюдений на $26''$ рефракторе за период 1972–1984 г.г. было установлено, что третий компонент системы ADS 5983 при периоде 5.6 ± 0.5 года имеет достаточно малую массу $\geq 0.2\ M\odot$. Выявленная амплитуда смещения составила не более $0.''020$, что подтвердилось при дальнейших исследованиях на интервале наблюдений 1972–1999 г.г. и по наблюдениям Гипаркос [12].

– По 30–летнему ряду наблюдений было определено вековое перспективное ускорение q, равное $0.00017 \pm 0.00007\ ''/^2$, для одной из самых близких к Солнцу звезд Лаланд 21185 не только по проекциям координат α и δ, но и по направлению движения μ, а также по изменениям собственного движения в разных точках наблюдательного периода, что дало возможность оценить геометрическую лучевую скорость и уточнить природу этой звезды.

– Было подтверждено наличие спутника у звезды Глизе 623 ($AC48^o1595/1589$), Получены элементы орбиты фотоцентра. Большая полуось орбиты $0''.052 \pm 0.''006$ оказалась наиболее устойчивым параметром. Нижний предел массы спутника $0.090 \pm 0.030 M\odot$ рассчитанный с ее учетом и с полученным нами параллаксом согласуется с оценкой массы спутника, сделанной Барбери и др. [18], и несколько превышает границы субзвездной массы.

– По инициативе автора в 1995 году в Пулкове впервые начаты планомерные астрометрические наблюдения звезды 51 Пегаса, как только у этой звезды по наблюдениям лучевых скоростей Майором и Квелос [19] был выявлен планетоподобный спутник с периодом 4.2 дня и массой 0.44 массы Юпитера. Наблюдения на $26''$ рефракторе дают точность, характеризуемую ошибкой одной экспозиции, равной $0.''028$ и ошибкой среднегодового положения равной $0.''009$ Полученные результаты позволили выявить зону избегания для возможных спутников 51 Пегаса, характеризуемую периодами от 0.5 до 3.5 года и массами и массами более 0.3 $M\odot$ также приводится семейство наиболее вероятных орбит, которые возможно выявить при продолжении наблюдений на $26''$ рефракторе и имеющейся точности одного среднегодового положения, составляющей $0.''009$.

Научная и практическая ценность работы.

Полученные однородные ряды звезд с заподозренными невидимыми компонентами послужили основой для неоднократного определения орбит этих звезд как широких пар, а также для оценки сумм масс и динамических параллаксов, (см. [20], [21]).

Относительные положения ADS 11632, полученные по 36– летнему ряду наблюдений в Пулкове переданы автором в ИНАСАН, относительные положения ADS 5983 и ADS 11632 переданы в "The Wide Visual Double Stars Catalogue" USNO.

Компьютерные программы для обработки измерений двойных звезд и для определения собственных движений и параллаксов, составленные автором, использовались в Лаборатории автоматизации научных исследований ГАО.

Измерения данных звезд, полученные автором на полуавтоматическом измерительном приборе "Аскорекорд", послужили материалом для тестирования и усовершенствования алгоритмов для автоматических измерений изображений звезд на машине "Фантазия". Автором разработаны также методические рекомендации, которые служат основой для осуществляемой в настоящее время обработки полученных на двух пулковских инструментах многолетних наблюдений ADS 7251, а также уникального по длительности и по количеству наблюдений столетнего ряда двойной звезды 61 Лебедя (ADS 14636), и других звезд.

Результаты исследования различных методов спектрального анализа и составленные автором компьютерные программы использовались в лаборатории вращения Земли и в лаборатории физики Солнца ГАО РАН.

На защиту выносятся:

1)Относительные положения пяти близких звезд, из них двух визуально–двойных: ADS 11632 и ADS 5983 (δ Близнецов) и трех одиночных: Лаланд 21185, Глизе 623 и 51 Пегаса, а также предварительные положения ADS 14636 (61 Лебедя) с ошибками одного среднегодового места $0.''007 \div 0.''020$.

Исследование и моделирование показало, что эти ряды при продолжительности более 30 лет позволяют выявить влияние спутника с массой $0.004 \div 0.012\ M\odot$ с периодами от 4 до 15 лет.

2) Результаты исследования случайных и систематических ошибок измерений фотопластинок на машине "Фантазия" показавшие увеличение внешней точности не менее, чем в 1.2 раза, а также позволившие выявить систематическую разность между визуальными и автоматическими измерениями.

3)Результаты определения элементов орбит двойных звезд: ADS 5983 и ADS 11632, элементов орбит фотоцентров и оценки масс спутников у звезд ADS 5983 A и Глизе 623, а также оценки периодов и масс гипотетических планетоподобных спутников у звезды ADS 11632 .

4)Результаты исследования звезды Лаланд 21185, показавшие отсутствие спутников с массой более 0.01 $M\odot$ и периодами от 3.5 до 30 лет и позволившие астрометрическим методом определить лучевую скорость.

5) Результаты астрометрических наблюдений звезды 51 Пегаса, показавшие отсутствие спутников с периодами от 1.4 до 3.5 лет с массами более 0.3 $M\odot$.

Апробация работы

Содержание диссертации докладывалось на семинарах лаборатории фотографической астрометрии, на семинаре лаборатории фотометрии, на семинарах астрометрических отделов ГАО РАН , на семинаре кафедры звездной динамики СПбГУ (2001 г.), на координационном Совете по астрометрии ГАИШ (2001 г.), на общегородском астрономическом семинаре в ИПА РАН Санкт-Петербург, (2001), на всесоюзных , всероссийских конференциях: на зимних школах УрГУ в 1989-1990 г.г., на конференциях Всероссийского астрономического общества в Цее (Сев. Осетия, 1990 г.), Нижнем Новгороде (1991 г.) и в Москве (1992 г.); на международных конференциях: по двойным звездам в Атланте, США (1991 г.), 166 Симпозиуме МАС в Гааге (1994 г.), на конференции Европейского астрономического союза JENAM–1995 в Катанье (Италия), на международной конференции "Эволюция и структура Вселенной" в Петрозаводске (1995 г.), на конференции по двойным звездам в Сантъяго де Компостела (Испания, 1996 г.) , на конференции "Планетные системы" в Блуа (Франция, 1997 г.), на конференции Европейского Астрономического союза JENAM–2000 (Москва), на международной конференции "Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века" (ИПА, Санкт-Петербург, 2000 г.) и Всероссийской астрономической конференции (Санкт-Петербург, 2001 г.).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка цитируемой литературы (151 наименование). Она содержит 35 рисунков и 44 таблицы. Общий объем диссертации – 270 страниц.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы, обсуждаются основные цели, задачи и методы, использованные в работе, отмечается научная новизна и практическая значимость ее результатов, дается краткое изложение содержания диссертации, указывается, где диссертация прошла апробацию и формулируются основные положения, выносимые на защиту.

Характеристика наблюдательного материала и основные полученные результаты соответствуют приведенным в настоящем автореферате таблицам . В таблицах 1 и 1а: N– число исследованных пластинок, ΔT–общий интервал наблюдений в Пулкове на $26''$ рефракторе ($26''$) и на нормальном астрографе (NA), σ–среднеквадратичная ошибка одного среднегодового положения, полученная по измерениям на Аскорекорде (A) и на автоматической машине "Фантазия" (Ф).

Таблица 1. Данные об исследуемых звездах.

No	Название	m_{vis}	Sp	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	π_{tr}	ΔT	N	σ
1.	ADS 5983	A $3^m.5$	F2IY	7^h $20^m.1$	$+22^o$ $00'$	$0.''061$	1972–2000, $26''$	144	$0.''020$ (A)
	(δ Gem)	B 8.2	dK6						
2.	Lal 21185	7.5	M2Y	11 03.3	+36 02	0.396	1962–1993, $26''$	93	0.016 (A)
3.	Gliese 623	10.5	dM3	16 24.0	+48 21	0.138	1979–1995, $26''$	89	0.013 (A), 0.008 (Ф)
4.	ADS 11632	A 8.9	dM4	18 42.9	+59 36	0.284	1961–1999, $26''$	188	0.017 (A), 0.012 (Ф)
		B 9.7	dM5						
5.	51 Peg	5.5	G5Y	22 57.5	+20 46	0.074	1995–2000, $26''$	40	0.009 (Ф)

Таблица 1a. Данные о двойной звезде 61 Лебедя.

No ADS	m_{vis}	Sp	$\alpha_{2000.0}$	$\delta_{2000.0}$	π_{tr}	ΔT	N	σ
ADS 14636	$5.^m2, 6.^m0$	K5Y,K5Y	21^h $07.^m7$	$+38$ $^o42'$	$0.''296$	1895–2000, NA	240	$0.''015$ (A)
						1960–2000, $26''$	260	$0.''008$ (Ф)

Таблица 2. Элементы орбит двойных звезд.

No ADS	ΔT	P	a	e	i	ω	Ω	T_o
1. ADS 5983 (A)	24	622.0	$6.''03$	0.75	$118^o.3$	$63^o.7$	$353^o.9$	1644.8
2. ADS 11632 (A)	36	1124.4	27.3	0.43	$106^o.6$	$318^o.4$	$145^o.0$	1834.2
ADS 11632 (Ф)	28	1092.7	26.7	0.42	$106^o.7$	$318^o.9$	$145^o.0$	1835.9

Таблица 2a. Элементы орбит фотоцентров.

Название	ΔT	P	a	e	i	ω	Ω	T_o	$M\odot$
1. Глизе 623 (A)	17	3.76	$0.''052$	0.51	134^o	265^o	134^o	1984.3	0.09
Глизе 623 (Ф)	17	3.76	$0.''052$	0.51	141^o	289^o	149^o	1984.3	0.09
2. δ Gem**A** (A)	28	5.6	$0.''023$	0.10	43^o	130^o	207^o	1973.3	0.2
3. ADS 11632 (Ф)	36	16.4	$0.''020$						0.005
	36	4.6	$0.''020$						0.012

Для звезд, наблюдаемых на $26''$ рефракторе, исследованные интервалы наблюдений указываются для каждой звезды далее отдельно, они почти полностью совпадают с общим периодом наблюдений (табл. 1 и 1а). Исследования периодических возмущений в движении звезды 61 Лебедя с использованием положений, полученных А.Н.Дейчем [11] по пластинкам нормального астрографа, производилось по ряду наблюдений 1895–1975 г.г. В таблице 2 даны параметры относительных орбит, полученные для широких пар визуально–двойных звезд ADS 5983 (δ Gem) по измерениям на Аскорекорде и ADS 11632 по измерениям на Аскорекорде –(А) и на "Фантазии"– (Ф). ΔT– общий интервал наблюдений.

В таблице 2а даны элементы орбит фотоцентров Глизе 623 и яркой компоненты δ Gem **A**, описываемых ими под влиянием спутников, а также периоды и амплитуды смещения фотоцентра одной из компонент двойной звезды ADS 11632, полученные под влиянием гипотетических спутников. Периоды Р в таблицах 2 и 2а выражены в годах. В последнем столбце таблицы 2а даны нижние пределы масс спутников, выраженные в массах Солнца. ΔT– общий интервал наблюдений.

Во введении также приводится список опубликованных работ автора по теме диссертации с указанием его личного вклада в те работы, которые были выполнены с соавторами.

В первой главе в § 1 дан исторический обзор исследований звезд с невидимыми спутниками астрометрическим и другими методами. В § 2 дается краткое описание современного состояния проблемы исследования невидимой материи в Галактике. В п 1.2.1 отмечаются основные современные методы наблюдений звезд с планетоподобными спутниками: астрометрический метод, обнаружение планет по доплеровскому смещению, фотометрический метод, эффект микролинзирования, обнаружение планет с помощью наблюдений радиопульсаров. В п.п. 1.2.2 –1.2.3 дано краткое описание современных дискуссий о природе и эволюции планетных систем и приводятся основные результаты наблюдений экзопланет; в п. 1.2.4 – дано краткое описание современных представлений о коричневых карликах – объектах субзвездной массы, в п. 1.2.5 – дан обзор используемых инструментов и технологий для поисков невидимых объектов малой массы, отмечаются планируемые проекты космических наблюдений для данной цели; в п. 1.2.6 – приведены данные о наблюдениях методом микролинзирования темных компактных объектов в гало нашей Галактики и в других галактиках

Во второй главе описана методика наблюдений с помощью 26″ рефрактора и нормального астрографа пулковской обсерватории избранных близких звезд с заподозренными и имеющимися невидимыми спутниками, а также даны алгоритмы получения относительных положений одиночных и двойных звезд.

В § 1 второй главы даны параметры пулковских астрографов , а также краткая история исследований 26″ рефрактора, которые были предприняты в свое время И.И.Канаевым и А.А. Киселевым; при этом отмечается высокое качество оптики его объектива, постоянство масштаба и разрешающей силы телескопа, что позволяет в течение многих лет использовать этот инструмент для высокоточных наблюдений, в частности, для исследования звезд с темными спутниками.

В §2 второй главы приведены основные данные об исследуемых звездах, а также изложены принципиальные соображения, которые принимались в расчет в условиях Пулкова при создании общей программы звезд с невидимыми спутниками, часть которой составляют звезды, исследуемые в рамках настоящей работы.

Большинство объектов программы являются близкими к Солнцу звездами поздних спектральных классов с массами ≤ 1 M$\odot$; зенитное расстояние в меридиане не превышает 40^o. Возможность выявления тонких эффектов гравитационного влияния спутника обеспечивается оптимальным количеством наблюдений в сезон и однородной методикой наблюдений в течение нескольких десятилетий. В этой же главе дана **оценка возможностей наблюдений (ОВН)** звезд данной программы, полученная с помощью компьютерного моделирования с учетом точности наблюдений на длиннофокусных астрографах и практики наблюдений в Пулкове и формулирующая предельные значения и диапазоны масс и периодов, которые можно оценить из наших наблюдений для конкретных наблюдаемых объектов. Границы возможных периодов в основном составляют от 3.5 до 15 лет. Нижний предел выявляемой массы в том случае, если наблюдения продолжаются более 30 лет, должен составлять не менее 0.01 $M\odot$.

В §2 дается также краткая характеристика и общая история наблюдений исследуемых в рамках настоящей работы звезд и приводится описание методики наблюдений этих звезд. Наблюдения проводились в меридиане или в небольшом часовом угле.

В течение каждого наблюдательного сезона было получено от 4 до 8 пластинок с одиночными звездами и от 6 до 10 пластинок с двойными звездами со средним числом экспозиций на каждой пластинке, равном 5.7 для одиночных звезд и 15.0 для двойных звезд.

В §3 второй главы описаны методы измерений и обработки рядов наблюдений. Все пластинки были первоначально измерены на полуавтоматической машине "Аскорекорд" . Затем весь материал, кроме пластинок с двойной звездой δ Близнецов, полученных с дифракционной решеткой, был переизмерен с помощью автоматического измерительного комплекса (АИК) "Фантазия" , который представляет собой программируемый прецизионный микроденситометр с разработанным для него в Пулкове матобеспечением. Краткое описание АИК дано в §3 второй главы диссертации. В §3 второй главы диссертации также приведены ошибки, характеризующие получаемую точность. Точность измерений одиночных звезд характеризуется среднеквадратичными ошибками одного изображения $\sigma_{1(xy)}$ лежащими в пределах от $0.''040$ до $0.''044$ при измерениях с визуальным наведением на Аскорекорде (А), и ошибками, равными $0.''028 \div 0.''034$, при измерениях на автоматической машине "Фантазия" (Ф).

В среднем по всем одиночным звездам ошибка одного среднегодового положения: $\sigma_{a(xy)}$ (А) равна $0.''015$ и $\sigma_{a(xy)}$ (Ф) равна $0.''009$. Ошибки одного изображения для двойных звезд: $\sigma_{1(xy)}$ (А) и $\sigma_{1(xy)}$ (Ф) составляют $0.''075$ и $0.''042$ соответственно; ошибки среднегодового места: $\sigma_{a(xy)}$ равны $0''017$ и $0''012$ для (А) и (Ф) также соответственно.

В §4 второй главы даны алгоритмы обработки астронегативов для определения относительных положений одиночных и двойных звезд при использовании фотографических наблюдений.

В третьей главе даны результаты определения кинематических и динамических параметров исследуемых звезд . В число этих параметров входят относительные положения, относительные собственные движения и ускорения этих звезд, амплитуды смещения фотоцентров, а также оценки нижних пределов масс спутников.

В §1 третьей главы даны результаты исследования ADS 5983 (δGem) за период наблюдений 1972–1999 г.г. В п 3.1.1 дана краткая история наблюдений этой звезды. Ее яркая компонента ADS 5983 A согласно [22] является спектрально-двойной звездой с невидимым спутником, имеющим период обращения 6.13 года и с функцией масс, равной 3.8 $M\odot$. В дальнейшем эта звезда была включена в списки релятивистских объектов и в течение некоторого времени оставалась предметом дискуссии, причем масса предполагемого темного спутника оценивалась в $6 \div 9$ $\odot$.

До этого решался вопрос о наличии релятивистского спутника (с массой около 10 $M\odot$) и с периодом обращения 6.1 год, у этой звезды (см. [13], [14]) , причем предпринимались различные попытки проверить гипотезу о природе спутника путем наблюдений. В результате на основе спектроскопических и позиционных наблюдений рядом авторов был сделан вывод об отсутствии шестилетнего периода возмущений в движении этой звезды и об отсутствии спутника как релятивистской, так и звездной природы с таким периодом обращения, (см. [15], [16]).

Очевидно, что тогда не было достаточно однородных и продолжительных рядов астрометрических и спектроскопических наблюдений этой звезды. При этом предполагаемый спутник не был обнаружен также при спекл–наблюдениях из-за недостаточного разрешения, (см. [17]). В настоящее время в каталоге WVD последними точными астрометрическими относительными звезды ADS 5893 являются положения, полученные в Пулкове на 26" рефракторе и опубликованные в пулковском "Каталоге относительных положений 200 визуально– двойных звезд" (см. (3) из списка публикаций автора). В пулковскую программу она была включена в связи с просьбой авторов [13], для проверки гипотезы о присутствии спутника с большой массой и, следовательно, для выявления систематических уклонений от относительного орбитального движения с периодом 6.1 год и амплитудой $0.''3$.

В п. 3.1.2 даны результаты наблюдений этой звезды в Пулкове на $26''$ рефракторе. В п. 3.1.3 изложены выводы, полученные в результате исследования этой звезды:

1) Сделан окончательный вывод об отсутствии релятивистского спутника, однако мы полагаем, что у компоненты A имеется спутник с периодом обращения 5.6 ± 0.5 года с нижним пределом массы 0.2 M $\odot$. Период выявляется по двум координатам X и Y и на разных интервалах наблюдений. Амплитуда смещения фотоцентра равна $0.''018 \pm 0.''006$; при этом обнаруживается влияние орбитальной составляющей, вызванной движением спутника, на величину ошибки единицы веса σ_w при решении уравнений относительно параметров движения видимых компонентов пары. До исключения орбитальной составляющей σ_w была равна $0.''024$; после исключения σ_w оказалась равной $0.''019$.

2) Также не исключается возможность присутствия четвертого компонента в этой системе по обнаруженному нами периоду около двух лет в параллактическом ряде, при этом амплитуда смещения по координате X составила $0.''014 \pm 0.''008$.

В §2 даны результаты исследования в Пулкове звезды Лаланд 21185 по наблюдениям 1962–1992 г.г.
Целью исследования было подтверждение или опровержение наличия спутников с периодами 4–15 лет и с массами более 0.01 M $\odot$, так как в течение ряда лет эта звезда считается одним их самых приоритетных объектов для обнаружения спутников малой массы, (см., например, [9]).

В п. 3.2.1 дана история наблюдений этой звезды в Пулкове.

В п. 3.2.2 даны результаты наблюдений и приведены полученные относительные положения. Приводится значение векового перспективного ускорения в движении этой звезды, рассчитанное по α и δ, а также в проекции на направление собственного движения μ и из сравнения собственного движения, полученного в моменты наблюдений, отстоящие на 15 лет. В связи с тем, что эта звезда является одной из самых близких к Солнцу, пулковские наблюдения дали возможность получить величину векового перспективного ускорения, независимую астрометрическую (динамическую) лучевую скорость и из сравнения ее со спектроскопической оценить величину возможного красного смещения. В данном случае обе эти скорости показали хорошее согласие и, таким образом, была подтверждена природа этой звезды как красного карлика, Дополнительно по полученной величине ускорения делается вывод об отсутствии долгопериодического спутника (с периодом обращения от 8 до 15 лет и с массой > 0.01 $M\odot$. Следует отметить, что современные радионаблюдения и космические наблюдения Лаланд 21185 с помощью планетной камеры HST (см.[23], [24]), также не обнаружили у этой звезды спутников ни звездной, ни планетной массы.

В §3 третьей главы изложены результаты наблюдений одиночной звезды Глизе 623 (AC 48°1595/1589), ряд наблюдений которой состоит из 89 пластинок, полученных в 1979–1995 г.г. Эта звезда была включена в пулковскую программу с целью подтверждения по астрометрическим наблюдениям спутника с периодом обращения 3.7 лет, предположенного согласно [25]. В п.3.3.2 даны полученные относительные положения для Глизе 623, а также относительные собственные движения этой звезды и контрольной , заведомо далекой звезды. Для обоих объектов исследованы невязки O–C.

1) Пулковские наблюдения подтверждают наличие спутника с

массой $0.09 \pm 0.03 \ M\odot$ и с периодом обращения 3.76 ± 0.10 лет.

2) В результате выявленного орбитального движения для фотоцентра Глизе 623 по способу Тиле–Инеса вычислены элементы орбиты, которые хорошо согласуются с [25].

С учетом полученного значения тригонометрического параллакса нижний предел массы спутника свидетельствует о том, что этот спутник является скорее маломассивным звездным объектом, чем коричневым карликом.

3) Ряд наблюдений Глизе 623 был первым большим рядом, измеренным как на Аскорекорде, так и на АИК "Фантазия". В результате исследования сделан вывод о перспективности этих измерений с целью получения относительных положений объекта в системе опорных звезд, а также с целью выявления достаточно тонких эффектов, которые вызываются влиянием невидимых спутников.

В §4 изложены результаты наблюдений двойной звезды ADS 11632 на интервале 1961–1997 г.г. В п.3.4.1 изложена история ее наблюдений.

Целью исследования было: подтверждение или опровержение наличия спутника с периодом 5 лет, предположеного в [26], исследование возможных долгопериодических (до 15 лет) систематических уклонений от орбитального движения, а также сравнение автоматических и визуальных измерений на всех этапах обработки: от сравнения внутренней и внешней точности до получения и сравнения элементов истинной орбиты этой визуально-двойной звезды.

В п.3.4.2 дана оценка точности измерений; показано, что внешняя точность при измерениях на "Фантазии" выше не менее, чем в 1.2 раза по сравнению с измерениями на Аскорекорде, соответствующие среднегодовые ошибки в расстояниях равны: $0.''016$ и $0.''012$. Определена систематическая разница в расстояниях вида "глаз–автомат", равная $+0.''031 \pm 0.''004$, с учетом этой разницы относительные расстояния ADS 11632, полученные на пулковском 26$''$ рефракторе, не имеют систематических различий с результатами 26$''$ рефрактора USNO.

В п.3.4.3 приводятся основные выводы. По измерениям на Аскорекорде после исключения относительного орбитального движения получена периодическая составляющая с периодом 14.8 лет и с амплитудой $0.''040 \pm 0''.010$, а по более точным измерениям на "Фантазии" две составляющие 16.4 и 4.6 лет с амплитудами $0.''020 \pm 0.''008$, причем период 4.6 лет проявляется также в положениях, полученных по наблюдениям в Naval Observatory. В том случае, если эти периоды не отражают влияние астроклиматических факторов, можно предположить наличие спутников с соответствующими массами 0.005 и 0.012 $M\odot$.

В §5 изложены результаты наблюдений одиночной звезды 51 Пегаса. Ряд наблюдений состоит из 41 пластинки, полученных в 1995–2000 г.г. Наблюдения 51 Пегаса ведутся в Пулкове с целью обнаружения влияния спутников с периодами обращения не меньше одного года и с массами более 0.2 $M\odot$ В п.3.5.1 описаны условия наблюдений этой звезды в Пулкове, которые продолжаются в течение 7 наблюдательных сезонов. Сделаны выводы о том, что несмотря на то, что эта звезда не является очень близким объектом $(\pi = 0.''065)$, ее астрометрические наблюдения достаточно перспективны. В поле, доступном для наблюдений на 26$''$ рефракторе, имеется достаточное количество опорных звезд, из них 14 звезд имеются в каталоге Carte du Ciel и, таким образом, имеется возможность улучшить систему опорных звезд, определив их собственные движения с разностью эпох в 100 лет. Расположение этой звезды относительно полюса эклиптики позволяет определить с одинаковым весом значения параллакса π_x, π_y т.е. по двум проекциям параллактического смещения.

В п. 3.5.2 даны полученные по пулковским наблюдениям предварительные значения собственного движения и параллакса. Ошибка единицы веса по измерениям на "Фантазии" составляет $0.''028$, что свидетельствует о хорошей точности ряда. Исследование полученных невязок с помощью метода спектрального анализа показало, распределение наблюдений этой звезды и полученная точность позволяет выявить наличие частот, соответстующих диапазонам периодов $0.5 \div 0.8$ $1.4 \div 1.6$ и $2.4 \div 2.6$ и периодам 3.0 и 3.5 лет с амплитудами более $0.''030$. Однако оответствующие периоды не обнаружены, что говорит об отсутствии короткопериодических спутников с массами более 0.3 $M\odot$.

В §6 в п.6.1 изложены предварительные результаты обработки измерений на машине "Фантазия" 260 пластинок (около 5000 отдельных экспозиций) ряда наблюдений 1961–1997 г.г. звезды 61 Лебедя. Получаемая точность характеризуется ошибкой одного изображения, равной $0.''028$, ошибкой одного среднегодового места, равной $0.''008$.

В четвертой главе приводятся результаты исследования невязок, полученных в движении данных звезд после исключения кинематических параметров и орбитального движения.
Рассмотрены некоторые методы спектрального анализа, кроме того для звезд ADS 5983 и ADS 11632 был применен регрессионный анализ для оценки влияния различных факторов, в том числе, изменения качества изображений, изменения зенитного расстояния при наблюдениях, температуры и т.д. на периодические составляющие.

Методы и алгоритмы спектрального анализа были исследованы для наиболее оптимального выявления периодов в пулковских рядах, которые имеют свою специфику наблюдений: наблюдения в меридиане распределяются, как правило, в узком временном интервале в течение 2–3 месяцев внутри каждого года. Для равномерно расположенных среднегодовых точек были применен метод Тюки, для неравномерно расположенных наблюдений, или для наблюдений с пропусками применялся метод Скаргла. Кроме того, для неравномерного ряда была также использована предоставленная нам программа, составленная по методу CLEAN сотрудниками СПбГУ под руководством В.В.Витязева.

Данные методы применялись с двоякой целью: 1) изучение свойств различных методов в применении к конкретным рядам и 2) исследование данных рядов, с целью оценки достоверности выявляемых периодов.

В результате были подтверждены и уточнены полученные предварительно графически и методами аппроксимации периодические составляющие, приведенные в третьей главе в движении звезд: Глизе 623 по ряду 1979–1995 г.г.; δ Близнецов (ADS 5983) по ряду 1972–2000 г.г.; ADS 11632 по ряду 1968–1999 г.; Оценки масс предполагаемых спутников соответствуют значениям, приведенным в третьей главе.

Кроме того подтверждены периоды 5.8 ± 0.5 и 6.0 ± 0.5 лет в движении 61 Лебедя по наблюдениям на нормальном астрографе 1895–1976 г.г., полученные ранее с помощью других методов А.Н.Дейчем [10–11], и выявлен период 6.4 года в ряде наблюдений 1961–1997 г.г. этой звезды на $26''$ рефракторе.

<u>В пятой главе</u> даны результаты определения орбит для звезд ADS 5983 и ADS 11632 по методу параметров видимого движения (ПВД) разработанному в Пулкове А.А.Киселевым с соавторами [20]. Полученные уклонения от предварительного орбитального движения, а также уклонения от эфемериды, вычисленние в результате определения относительной орбиты, подтвердили систематические изменения в расстояниях между компонентами ADS 5983 и ADS 11632, указанные в третьей главе настоящей работы.

При этом сумма масс для звезды ADS 5983 δGem была принята равной 2.5 $M\odot$ и для ADS 11632 – 0.68 M$\odot$ согласно спектральному классу компонентов. Так как орбиты удовлетворительно согласуются со старыми наблюдениями, был сделан вывод об отсутствии каких-либо массивных невидимых спутников в системах этих звезд, однако остаются в силе все наши предположения о наличии спутников у этих звезд с указанными в третьей главе массами и периодами.

В пятой главе также представлена модель движения фотоцентра и вычислены элементы орбиты, описываемой фотоцентром под влиянием предполагаемого спутника у звезды ADS 5983 A (δGem A).

В заключении приводятся основные результаты диссертации, обсуждается наиболее приемлемая методика для исследования данных рядов наблюдений, массы и периоды имеющихся и предполагаемых спутников.

Сделаны некоторые выводы о перспективах наблюдений и обработки протяженных рядов звезд с невидимыми спутниками как с помощью фотографии так и с применением ПЗС–матрицы.

В приложении даны относительные положения ADS 5983, ADS 11632, Лаланд 21185 и Глизе 623 по отдельным пластинкам.

Основные результаты диссертации представлены в следующих публикациях:

1. Шахт Н.А., (1984), Фотографические наблюдения ADS 11632 с возможным невидимым спутником. Письма в АЖ, т.10, в. 10, с.765–770.

2. Шахт Н.А., (1985), Исследование звезд с невидимыми спутниками на основе фотографических наблюдений. Сообщение САО АН СССР (Труды совещания раб.группы "Поиски внесолнечных планет", 1.06–4.06 1982), с. 20–22.

3. Киселев А.А., Калиниченко О.А., Плюгин Г.А., Шахт Н.А., Фираго Б.А., Кияева О.В., Быков О.П., (1988), Каталог относительных положений и движений 200 визуально-двойных звезд на основе фотографических наблюдений в Пулкове на 26"рефракторе в 1960-1985 г.г." Изд. Наука, Ленинград, с. 1–39.

4. Киселев А.А., Кияева О.В., Шахт Н.А., (1992), Астрометрия с длиннофокусным телескопом в Пулкове. В сб. "Проблемы исследования Вселенной", посв. 150 лет фотографии, в.13, Изд.Наука, Ленинград, с.142–164.

5. Шахт Н.А., (1988), Исследование движения и определение кинематических параметров звезд с невидимыми спутниками в Пулкове. I. Результаты наблюдений δ Близнецов. Изв. ГАО, 205, с. 5–14.

6. Shakht N.A., (1992), The study of the red dwarf Lalande 21185 motion. Proc. of Coll. No 135 IAU, Atlanta USA, p.346–348.

7. Shakht N.A., Kiyaeva O.V., (1992), The study of Delta Gem motion . Proc. of Coll. No 135 IAU, Atlanta USA, p.449–451.

8. Shakht N.A., (1990), Астрометрические наблюдения звезд с невидимыми спутниками. сб. Астрономо-геодезические исследования

УрГу, Свердловск, с.97–103.
9. Kiselev A.A., Bykov O.P., Kalinichenko O.A., Kiyaeva O.V., Shakht N.A., (1990), The Pulkovo programme for the study of visual double stars. Proc.of Symp. No 141 IAU, p. 63–64.
10. Shakht N.A.,(1995), Observations of Gliese 623 and others stars with suspected unseen components. Proc. Symp No 166, IAU, p.359.
11. Шахт Н.А.,(1997), Поиски невидимых компонентов избранных близких звезд на основе фотографических наблюдений в Пулкове. Proc. of Intern. Conf. "Structure and Evolution of Stellar Systems" (Petrozavodsk, Karelia, Russia, 13–17 Aug.1995), St.Petersburg, p. 81–85.
12. Shakht N.A., (1997), A study of the motion the star Gliese 623 with a low mass dark companion on the basis of observations at Pulkovo. Astr.and Aph.Trans. v. 13, Gordon and Breach Publisher, p. 327–337.
13. Shakht N.A., Polyakov E.V., Rafalsky V.B., (1997), The Automatic Machine"Fantasy " Employment for the Measurements of the Stars with Dark Companions. Aph. and Space Sci Library v.223, (Proc. of Workshop "Visual Double Stars " Santiago de Compostela, Spain 28.07–03.08.1996, Kluwer Academy Publisher) p. 99–106.
14. Shakht N.A., Polyakov E.V., Rafalsky V.B., (1997), The Reexamination of Gliese 623A Orbital Motion on the Basis of Automatic Measurements. Aph. and Space Sci Library v.223, (Proc. of Workshop "Visual Double Stars " Santiago de Compostela, Spain 28.07-03.08.1996, Kluwer Academy Publisher) p.389-394.
15. Шахт Н.А.,(1998), Исследование рядов фотографических наблюдений двойных и одиночных звезд с применением методов спектрального анализа. Известия ГАО, 213, с.183–201.
16. Shakht N.A., (1998), The history of the search for planetary sys-

tems at Pulkovo observatory. Proc.IX–me Rencontrée de Blois "Planetary systems: long views", Blois, France , p.395–398.
17. Grosheva E.A., Shakht N.A., Kiselev A.A., Polyakov E.V., Rafalsky V.B.,(1998), Results of astrometric study of stars with dark components of low masses. Proc.IX–me Rencontrée de Blois "Planetary systems: long views", Blois, France , p.399–401.
18. Шахт Н.А., Киселев А.А., Поляков Е.В., Грошева Е.А., Рафальский В.Б. , (1999), Сравнение автоматических и визуальных измерений двойной звезды ADS 11632. Семинар лаборатории фотометрии, препринт No 16, ГАО РАН, С.–Петербург, с.1–19.
19. Шахт Н.А., (2000), Исследование звезды Дельта Близнецов по наблюдениям в Пулкове. Изв.ГАО , 214, с.77–90.
20. Шахт Н.А., Киселев А.А., Поляков Е.В., Грошева Е.А., Рафальский В.Б., (2000), Исследование избранных близких звезд с заподозренными невидимыми спутниками на основе автоматических измерений. Тезисы докладов конф. "Астрометрия, геодинамика, и небесная механика на пороге XXI века", 2000, ИПА РАН, с. 190.
21. Киселев А.А., Кияева О.В., Романенко Л.Г., Шахт Н.А., (2000) Астрометрические наблюдения двойных звезд в Пулкове. Тезисы докладов конф. "Астрометрия, геодинамика и небесная механика на пороге XXI века" 2000, ИПА РАН, с. 164–165.
22. Шахт Н.А., Киселев А.А., Поляков Е.В., Грошева Е.А., Рафальский В.Б., (2001), Астрометрические наблюдения звезды 51 Пегаса в Пулкове в 1995–2000 г.г. Тезисы докладов, ВАК , 6–12 августа 2001, С.–Петербург, с. 197.
23. Шахт Н.А., Киселев А.А., Поляков Е.В., Грошева Е.А., Рафальский В.Б., (2001), Результаты наблюдений двойной звезды Дельта Близнецов в Пулкове в 1972–2000 г.г. Тезисы докладов, ВАК

, 6–12 августа 2001, С.–Петербург, с.198.
24. Горшанов Д.Л., Бронникова Н.М., Канаев И.И., Киселев А.А., Поляков Е.В., Кияева О.В., Романенко Л.Г., Шахт Н.А., (2001), Столетний ряд наблюдений звезды 61 Лебедя в Пулкове. История и перспективы. Тезисы докладов, ВАК , 6–12 августа 2001, С.–Петербург, с.50.

Личный вклад

Автор в течение многих лет является одним из основных наблюдателей 26″ рефрактора и принимает активное участие в наблюдениях по всем программам на этом инструменте и в дискуссии по получаемым результатам. 200 пластинок из 550 , включенных в основную обработку, получены автором на 26″ рефракторе в течение 1969–2000 г.г.

Все измерения на Аскорекорде произведены автором.
Вычисление относительных положений δ Близнецов на интервале наблюдений 1972–1989 г.г. и относительных положений ADS 11632 на интервале наблюдений 1962–1989 г.г. по измерениям на Аскорекорде производились по программам О.В.Кияевой. Используемая в диссертации программа CLEAN была предоставлена автору составившими ее сотрудниками Санкт-Петербургского университета под руководством В.В.Витязева. Вычисление орбит широких пар δ Близнецов и ADS 11632 , были произведены по программам Е.А.Грошевой.

Основные результаты по новым измерениям пластинок с 61 Лебедя были получены Д.Л. Горшановым под руководством автора настоящей диссертации.

Все остальные вычисления при обработке наблюдательного материала для всех исследуемых в настоящей работе звезд, в том числе, обработка измерений на машине "Фантазия", получение собственного движения и параллаксов, использовании методов спектрального анализа Скаргла и Тюки для исследования временных рядов и определение элементов орбит фотоцентров, производились по компьютерным программам автора.

В работах, написанных с соавторами – (13, 14, 18, 22, 23 настоящего списка) автору диссертации принадлежат: постановка задачи, руководство работой, часть вычислительных программ при обработке, участие в интерпретации и дискуссии. Для (3) – "Каталога относительных положений 200 двойных звезд" автором как наблюдателем на $26''$ рефракторе получено 420 пластинок и обработано 3 ряда двойных звезд (250 пластинок)

В работах: 4, 7, 9, 17, 20, 21, 24 – вклад авторов равный.

Цитируемая литература

[1] Oudenot G., Mayor M., (2000), A la recherche de planetes extra–solaires. L'Astronomie , v.114, 1, p. 4–9.

[2] Lissauer J.J., (1998), On the diversity of planetary systems. Proc. of 9th "Rencontres de Blois"–Planetary systems: the long view", Blois, France, June 22-28, 1997, p. 45–50.

[3] Beust H., (1998), Planetary mean–motion resonances and stargrazing bodies in the β Pictoris system. Proc. of 9th "Rencontres de Blois"–Planetary systems: the long view", Blois, France, June 22–28, 1997, p. 411–414.

[4] Barrows A., (1998), The emerging theory of brown dwarfs and giant planetes. Proc. of 9th "Rencontres de Blois"– Planetary systems: the long view", Blois, France, June 22–28, 1997, p. 373–380.

[5] Benest D., (1997), Stable planetary orbit in binary systems.

Astroph.Space Science Library , v.223, Proc. Workshop "Visual Double Stars: Formation, Dynamics and Evolutionary Tracks" (Santiago de Compostela,Spain), p. 233–240 .

[6] Kopenberger D., Mc Carthy, (1994), New orbit and masses of Ross 614. Astron. J. 107, 4, p. 1551–1555.

[7] Lasserre T., (2000), Recherche de matiere noire galactique forme d'objet compacts. L'Astronomie, v.114, No 1, p. 10–16.

[8] Van de Kamp, (1981), the book "Stellar paths" in Astroph. Space Sci Library, v.85, p. 1–155.

[9] Gatewood G., Stein J., Kiewet de Jonge J., Persinger T., Reiland T., Stephenson B., (1992), Multichannel Astrometric Photometer and photographic astrometric studies in the regions of Lalande 21185, BD 56°2966, and HR 4785. Astron.J. 104, 3, p.1237–1247.

[10] Дейч А.Н., (1951), Орбита и масса темного спутника двойной звезды 61 Лебедя. Изв. ГАО, 146, с. 1–28

[11] Дейч А.Н., (1978), Новые данные о невидимых спутниках звезды 61 Лебедя. Письма в АЖ, т.4, с. 95–98

[12] http://www.usno.navy.mu

[13] Zeldovich Ja.,Gusseinov O.H., (1966), Collapsed stars in binaries. Aph.J., 144, p. 840–841.

[14] Гуссейнов О.Х., Новрузова Х. И. ,(1971), δ Gem– компонент сколлапсировавшей звезды ?. АЦ 628, с. 5.

[15] Блинников С.И., Птицын Д.А., (1971), О δ Geminorum. АЦ 663, с. 5–6.

[16] Ахундова Г.В., Гуссейнов О.Х., (1972), О возможной массе невидимого компонента δ Gem. АЦ 728, с. 1–2.

[17] Bonneau D., Carcillat J. M. et Vidal J. L., (1984), Observations d'etoiles doubles par interferometrie de tavelures au T2m du Pic du Midi. Astr., Aph.,Suppl.S., 58, p. 729–733.

[18] Barbieri C.,Demarchi G., Nota A., Corrain G., Hack W., Ragazzoni R., Macchetto D., (1996), First HTS/FOC images of the low mass companion of the astrometric binary Gliese 623. Astr. and Aph., 315, p. 418–420.

[19] Mayor M., Quelos D., (1995), Nature, 378, p.355.

[20] Киселев А.А., Романенко Л.Г.,(1996), Динамическое исследование девяти широких визуально– двойных звезд в окрестностях Солнца. АЖ,т.73, 6, с. 875–882.

[21] Kisselev A.A., Kiyaeva O.V., Romanenko L.G., (1997), Visual Double Stars Orbits Obtained by Apparent Motion Paremeters Method at Pulkovo. Aph. and Space Sci Library v. 223, (Proc. of Workshop "Visual Double Stars" Santiago de Compostela, Spain, p. 377–382.

[22] Batten A.H., (1967), Sixth Catalogue of Orbital Elements of spectroscopic binary systems. Publ. Dom. Astroph. Obs. Canada. Vol. 13, No 8, p. 119–251.

[23] Schroeder D.J., Golimowski D.A., Brukardt R.A., Burrows C.J., et al.,(2000), A search for faint companions to nearby stars using the wide field planetary Camera 2. Astron. J, v. 119 , p. 906–922.

[24] Bastian T.S., Dulk G.A., Leblanc J., (2000), A search for radio emission from extrasolar planets. Aph.J. v.545, 2, p. 1058–1063.

[25] Lippincott S.L., Borgman E.R., (1978), GC 20986 a new unresolved astrometric binary. PASP, v.90, p.226–229.

[26] Baize P., (1976), Elements orbitaux de dixhuit etoiles doubles visuelles. Astron. Aph. Suppl.Ser. v.26, p. 177.