

Институт астрономии Российской Академии наук  
Государственный астрономический институт  
им. П. К. Штернберга

521.9  
К-713

Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова  
Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина

**КОСМИЧЕСКИЙ  
АСТРОМЕТРИЧЕСКИЙ  
ЭКСПЕРИМЕНТ  
ОЗИРИС**

Под редакцией Л. В. Рыхловой и К. В. Куимова



Фрязино 2005

50406

УДК 52  
ББК 22.6  
К 71

**Космический астрометрический эксперимент ОЗИРИС.**

*Под редакцией Л. В. Рыхловой и К. В. Куимова.*

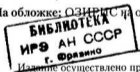
Фрязино: «Век 2», 2005, 350 с. ISBN 5-85099-165-4.

В книге рассмотрены научные задачи из области астрономии, которые могут быть решены с помощью космического астрометрического эксперимента. Описана также возможная конструкция космического аппарата и оптического интерферометра, предназначенного для решения этих задач. Для научных работников в области астрономии, студентов старших курсов, специалистов в области космического приборостроения.

**Авторы:**

А. А. Боярчук, А. В. Багров, С. И. Барабанов, Г. Т. Болгова,  
С. Г. Валеев, В. Е. Жаров, А. Н. Исупов, Т. А. Калинина,  
А. В. Кузьмин, К. В. Куимов, А. М. Микиша, В. Б. Пинчук,  
М. С. Пширков, А. С. Расторгуев, А. П. Рыженко,  
Л. В. Рыхлова, М. В. Сажин, В. Н. Семенов, А. Г. Серегин,  
М. А. Смирнов, В. К. Сысоев, Е. Н. Федосеев, О. С. Хованская,  
А. М. Черепанчук.

На обложке: ОЗИРИС на орбите (коллаж).



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-02-30017д) и Института астрономии РАН.



ISBN 5-85099-165-4

© Коллектив авторов под руководством М. В. Сажина, 2005 г.  
© «Век 2», 2005 г.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b>	<b>9</b>
<b>Предисловие редакторов</b>	<b>11</b>
<b>Глава 1. Развитие астрометрии и ее современные задачи</b>	<b>14</b>
1.1. История астрометрических исследований . . . .	14
1.2. Развитие методов построения инерциальной системы координат . . . . .	16
1.3. Развитие методов определения параметров вращения Земли . . . . .	20
1.4. Определение астрономических постоянных . . .	22
1.5. Современные методы астрометрических измерений . . . . .	24
1.6. Требования к опорной системе в оптическом диапазоне . . . . .	26
1.7. Роль HIPPARCOS в решении задач астрометрии	30
1.8. Современные небесные системы отсчета и их реализация . . . . .	35
1.9. Современная земная система отсчета. Определение ПВЗ . . . . .	36
1.10. Стандарты систем координат, рекомендованные IAU . . . . .	38
1.11. Новые задачи астрометрии . . . . .	43
<b>Глава 2. Научные задачи микросекундной астрометрии</b>	<b>46</b>
2.1. Уточнение шкалы расстояний . . . . .	48

2.2.	Исследование физики и эволюции звезд . . . . .	51
2.3.	Двойные звезды и поиск планетных систем . . .	51
2.3.1.	Открытие компонентов двойных и кратных звезд . . . . .	52
2.3.2.	Высокоточные астрометрические наблю- дения спектрально-двойных звезд . . . . .	53
2.3.3.	Наблюдения и открытие кратных протозвезд . . . . .	53
2.3.4.	Динамика кратных звезд . . . . .	54
2.4.	Исследование строения и кинематики галактик .	54
2.4.1.	Исследование строения Галактики . . . . .	54
2.4.2.	Исследование кинематики Галактики и других галактик . . . . .	54
2.5.	Другие задачи . . . . .	56
<b>Глава 3.</b>	<b>Нестационарность пространства-времени и астрометрия</b>	<b>57</b>
3.1.	Введение . . . . .	57
3.2.	Определение систем отсчета в астрометрии . . .	63
3.2.1.	Системы отсчета . . . . .	66
3.3.	Стабильность центра яркости внегалактических радиисточников . . . . .	69
3.4.	Отклонение света звезды в гравитационном поле других тел . . . . .	71
3.5.	Эффект слабого микролинзирования . . . . .	74
3.6.	Изменения координат опорных квазаров . . . . .	84
3.7.	Проблема измерения параллаксов . . . . .	88
3.8.	Позиционные измерения из барицентра Солнечной системы . . . . .	90
3.9.	Позиционные измерения из двух положений . .	97
3.9.1.	Измерения из двух точек орбиты . . . . .	97
3.9.2.	Измерение годичного параллакса . . . . .	101
3.9.3.	Измерения на жесткой базе . . . . .	102
3.10.	Вид уравнений в эклиптических координатах . .	105
3.11.	Вековая аберрация . . . . .	112
3.12.	Статистические характеристики слабого микролинзирования . . . . .	114

3.13. Статистика изменения положения изображений	116
3.14. Заключение	121
<b>Глава 4. Интерферометр-дугомер ОЗИРИС</b>	<b>123</b>
4.1. Техника для высокоточных интерферометрических измерений	123
4.2. Общие принципы измерений углов методами интерферометрии	129
4.3. Физическая реализация входных точек	134
4.4. Концепция дугомерных измерений с совмещенными базами	136
4.5. Схема смесителя и методика выделения ахроматической полосы	139
4.6. Ориентация интерферирующих пучков	140
4.7. Принцип определения положения точки равной длины хода	141
4.8. Регистрация интерференционной картины	142
4.9. Величина базы астрометрического интерферометра	145
4.10. Требуемая точность измерения положения	145
4.11. Приведение результатов измерений в единую систему	146
4.12. Требования к темпу и точности внутренней метрологии	147
4.13. Влияние искажений волнового фронта	149
4.14. Дифракционный интегратор волновых искажений	150
4.15. Учет систематических ошибок измерений	151
4.16. Учет ошибок измерений, вызванных случайными факторами	152
4.17. Оптическая схема двухбазового дугомера-интерферометра	156
4.18. Система наведения телескопов интерферометра на светила	158
4.19. Схема проведения измерений с интерферометром ОЗИРИС	163

4.20. Метрологическая система двухбазового интерферометра . . . . .	169
4.20.1. Принципы лазерных метрологических измерений . . . . .	172
4.20.2. Осветительная система лазерной метрологии . . . . .	178
4.20.3. Интерферометр для измерения длины базы . . . . .	183
4.20.4. Лазерная метрология в астрометрическом инструменте с общей базой . . . . .	184
4.20.5. Система ввода лазерного метрологического пучка . . . . .	189
<b>Глава 5. Решение астрономических задач с помощью КА ОЗИРИС</b>	<b>190</b>
5.1. Входной каталог для космического интерферометра . . . . .	190
5.1.1. Функциональное назначение основных классов объектов, включаемых во входной каталог . . . . .	192
5.1.2. Отбор объектов, реализующих инерциальную систему координат . . . . .	193
5.1.3. Объекты, позволяющие исследовать измерительные характеристики интерферометра-дугомера . . . . .	198
5.1.4. Звезды, позволяющие исследовать масштабы во Вселенной. Описание классов объектов, предлагаемых для включения в программу наблюдений . . . . .	200
5.1.5. Коррекция программы . . . . .	208
5.2. Реализация инерциальной системы координат . . . . .	209
5.2.1. Определение собственных движений и параллаксов звезд . . . . .	212
5.3. Наблюдения двойных звезд и экзопланет . . . . .	225
5.4. Бюджет ошибок . . . . .	233

5.4.1.	Ошибки наведения и установки инструмента . . . . .	234
5.4.2.	Ошибки оптического тракта инструмента	238
5.4.3.	Ошибки регистрации сигнала . . . . .	239
5.4.4.	Ошибки метрологии инструмента . . . . .	241
5.4.5.	Определение нуль-пунктов метрологической системы . . . . .	241
5.4.6.	Влияние инструментальных ошибок на измерения . . . . .	243
5.5.	Выводы . . . . .	246
<b>Глава 6.</b>	<b>Оптимизация программы наблюдений</b>	<b>249</b>
6.1.	Составление расписания наблюдений КА ОЗИРИС . . . . .	249
6.1.1.	Приоритеты в проведении наблюдений различных классов объектов . . . . .	254
6.1.2.	Наблюдения с околоземной орбиты . . . . .	258
6.2.	Построение алгоритма регрессионного анализа наблюдений . . . . .	264
6.2.1.	Математическая модель обработки данных, предназначенная для прогноза . . . . .	265
6.2.2.	Описательная (параметрическая) модель	271
6.2.3.	К вопросу выбора методологии обработки данных . . . . .	274
6.2.4.	Регрессионный анализ (РА) . . . . .	275
6.2.5.	Адаптивное регрессионное моделирование	278
<b>Глава 7.</b>	<b>Астрометрический инструмент в космосе</b>	<b>286</b>
7.1.	Аппаратурный состав дугомера-интерферометра	286
7.2.	Конструктив дугомера-интерферометра ОЗИРИС . . . . .	288
7.2.1.	Описание конструкции двухбазового интерферометра . . . . .	289
7.3.	Предварительный облик КА «Целеста» . . . . .	291
7.4.	Расчет теплового режима оптического интерферометра . . . . .	295
7.5.	Баллистико-навигационное обеспечение полета	298
7.6.	Управление угловым движением КА . . . . .	301

7.6.1.	Последовательность операций по управлению ориентацией КА . . . . .	304
7.7.	Бортовые системы КА «Целеста» . . . . .	305
7.7.1.	Бортовой управляющий комплекс (БУК)	305
7.7.2.	Вторичный источник питания (ВИП) . .	307
7.7.3.	Узел управления пиротехникой . . . . .	308
7.7.4.	Узел контроля заряда и разряда батареи .	309
7.7.5.	Модуль распределения питания по потребителям . . . . .	309
7.7.6.	Узел контроля состояния и распределения энергии потребителям . .	309
7.8.	Предложения по размещению КНА ОЗИРИС . .	310
7.9.	О магнитных исполнительных органах управления КА . . . . .	315
7.9.1.	Основные теоретические положения разгрузки двигателей-маховиков с помощью магнитных исполнительных органов . . . . .	320
<b>Заключение</b>		<b>326</b>
<b>Литература</b>		<b>329</b>



**Космический  
астрометрический эксперимент  
ОЗИРИС**

Под редакцией Л. В. Рыхловой и К. В. Куимова

Подготовка иллюстраций и верстка – В. Н. Семенцов

Подп. в печ. 23.12.2005. Формат 84x108/32.

Усл. п. л. 18,48. Тираж 500 экз. Заказ № 2057.

ООО «Век 2», 141195, г. Фрязино-5, Моск. обл., а/я 107.

Тел. (495) 785-56-39, доб. \*15-14, E-mail: vek-2@mail.ru.

Фрязино, пл. Введенского, 1, к. 102.

Изд. Лиц. ЛР № 070440 от 11.04.97.

Отпечатано в ОАО «Можайский полиграфкомбинат»

143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.