

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
МГУ  
\_\_\_\_\_ / Н.Н. Сысоев /  
«\_\_\_» 20 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

---

Уровень высшего образования:  
Специалитет

---

Направление подготовки:  
03.05.01 Астрономия

---

Направленность (профиль) ОПОП:  
Общая специальность

---

Квалификация «Специалист»

Форма обучения: Очная форма обучения

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол №\_\_\_\_\_, )

Москва 20\_\_\_

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение \_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. Д.ф.-м.н., Куимов Константин Владиславович, отдел астрометрии и службы времени ГАИШ МГУ
2. К.ф.-м.н., Семенцов Валериан Никитич, отдел астрометрии и службы времени ГАИШ МГУ

**Заведующий кафедрой**

Д.ф.-м.н. профессор Жаров Владимир Евгеньевич

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины** **«Методы обработки астрометрических наблюдений»**

Дисциплина «Методы обработки астрометрических наблюдений» имеет целью ознакомить студентов с методами, позволяющими из непосредственных результатов оптических астрономических наблюдений получить значения астрометрических параметров небесных тел — векторов положений и скоростей, а также других параметров, характеризующих структурные и фотометрические свойства наблюдаемых объектов. Основное внимание удалено строгим с физической и статистической точек зрения методам, а также использованию больших массивов наблюдений и фундаментальных каталогов, позволяющим получать надёжные статистические оценки. Подробно рассматриваются методы определения и учёта систематических ошибок, вносимых астрометрическими инструментами и приборами разных конструкций, и их учёту.

### **Разделы рабочей программы**

- 1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).**
- 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)**
- 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесённые с формируемыми компетенциями**
- 4. Форма обучения.**
- 5. Язык обучения.**
- 6. Содержание дисциплины.**
- 7. Объем дисциплины**
- 8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведённого на них количества академических часов и виды учебных занятий**
- 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.**
- 10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).**
- 11. Шкала оценивания.**
- 12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**
- 13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**
- 14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы**

## **1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина «Методы обработки астрометрических наблюдений» реализуется на 5-ом курсе во 2-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

## **2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия**

Курс использует знания, уже полученные при изучении теории вероятностей, общих методов математической обработки наблюдений, квантовой теории, курса «Общая астрометрия».

## **3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями**

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

<b>Формируемые компетенции (код компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
УК-1.Б	<p><b>3-1 Знать:</b> физические основы получения данных астрометрических наблюдений и их взаимосвязь</p> <p><b>3-2 Знать:</b> основные понятия математической обработки астрометрических наблюдений</p> <p><b>У-1Уметь:</b> строить модели редукции астрометрических наблюдений, используя критический анализ использованного оборудования и полученных данных</p> <p><b>У-2Уметь:</b> планировать и проводить обработку оптических астрометрических наблюдений, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов и имеющихся фундаментальных данных результаты, полученные в процессе таких наблюдений</p> <p><b>В-1 Владеть:</b> математическим аппаратом, применяемым в астрометрии</p> <p><b>В-2 Владеть:</b> методами теоретического исследования приборов и объектов в астрометрии</p>
ОПК-1.Б	<p><b>3-1 Знать:</b> основные математические методы, используемые при решении задач обработки астрометрических наблюдений</p> <p><b>У-1Уметь:</b> решать типовые задачи анализа кадра и выбора каталога</p> <p><b>У-2Уметь:</b> строить математические модели астрометрических наблюдений</p> <p><b>В-1 Владеть:</b> навыками анализа астрометрических наблюдений и обработки их результатов</p>

**3. Форма обучения: очная.**

**4. Язык обучения: русский.**

## 5. Содержание дисциплины

*Тема 1. Общая постановка задачи астрометрических наблюдений.*

*Общая постановка задачи обработки наблюдений как задачи математической статистики. Астрометрические параметры астрономических объектов.*

*Оптические системы, применяемые в астрометрии. Специализированные астрометрические телескопы: астрографы и зеркально-линзовые камеры. Функция рассеяния точки оптической системы. Влияние aberrаций и дифракции на точность измерений. Оценка максимально возможной точности определения положения изображения на фотоприемнике. Роль стабильности оптической системы. Область применения каждой из оптических систем.*

*Панорамные фотоприемники: фотопластинки и приборы зарядовой связи, их сравнительные характеристики. Аналоговые и цифровые машины для измерения фотопластинок. Построение изображений на фотоприемнике*

*Тема 2. Получение информации о наблюдаемых объектах.*

*Выделение объектов наблюдения в кадре. Алгоритмы локализации изображений точечных объектов, в том числе движущихся, в поле зрения фотоприемника.*

*Характеристики объектов наблюдения. Определение положения и инструментальной оценки блеска точечного источника, в том числе движущегося, на плоскости фотоприемника. Ошибка уравнения блеска как следствие нелинейности фотоприемника и методы её уменьшения. Методы определения функции рассеяния точки оптической системы.*

*Отождествление объектов наблюдения. Геометрические основы отождествления. Алгоритмы отождествления объектов в каталогах и их изображений в плоскости фотоприемника. Понятие об абсолютных методах отождествления и методах отождествления с использованием априорной информации.*

*Тема 3. Редукция астрометрических наблюдений.*

*Алгоритмы редукционных вычислений. Дробно-линейные и полиномиальные модели. Выбор редукционной модели в зависимости от задачи исследования и оценка точности редукционных вычислений. Статистические критерии для ограничения редукционной модели.*

*Решение линейных уравнений редукции. Переопределенные системы линейных уравнений. Сингулярное разложение, апостериорный анализ моделей и используемых каталогов по поведению остаточных погрешностей. Обобщенный метод наименьших квадратов в астрометрии.*

*Решение нелинейных редукционных задач. Центральная проекция и другие источники нелинейности редукционных соотношений. Нелинейные методы наименьших квадратов. Оценки погрешностей параметров нелинейных моделей.*

*Тема 4. Метод перекрывающихся пластинок.*

*Большие массивы наблюдений и разделение характеристик объектов и параметров кадра (пластинки). Оптимальные алгоритмы обзора участков неба. Временная задержка с накоплением и виртуальное отслеживание, их связь с классическим методом перекрывающихся пластинок.*

*Тема 5. Использование координатных каталогов.*

*Фундаментальные каталоги: опорные астрометрические каталоги, их точность и полнота. Требования к будущим опорным каталогам. Способы перехода между системами координат различных опорных каталогов. Международные стандарты небесных координат.*

*Инструментальные каталоги: обзоры неба и функционирующие роботы телескопы. Фотографические и ПЗС обзоры неба и их использование для определения координат объектов. Астрометрическое обеспечение инструментальных обзоров неба.*

*Тема 6. Космическая астрометрия.*

*Общие принципы конструирования космических инструментов для астрометрических наблюдений на всей небесной сфере. Особенности первого астрометрического спутника *HIPPARCOS* и его значение. Функционирование космического аппарата *GAIA*, актуальные и перспективные результаты. Способы использования оборудования космических аппаратов для получения астрометрической информации. Всеволновая астрометрия и перспективы наземных наблюдений.*

## 7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятель- ная работа студентов	
		Общая трудоемкость	в том числе			Семинар- ов		
			аудитор- ная нагрузка	Лекций	Семинар- ов			
Методы обработки астрометрических наблюдений	3	108	68	34	34	40		

## 8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Методы обработки астрометрических наблюдений» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углублённое изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно- практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Общая постановка задачи астрометрических наблюдений	16	6	-	6	4	Собеседование, опрос
2	Получение информации о наблюдаемых объектах	16	6	-	6	4	
3	Редукция астрометрических наблюдений	24	8	-	8	8	
4	Метод перекрывающихся пластинок	14	4	-	4	6	

<b>5</b>	Использование координатных каталогов	<b>20</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	
<b>6</b>	Космическая астрометрия	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	
	Промежуточная аттестация	<b>6</b>				<b>6</b>	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>108</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>34</b>	<b>40</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Методы обработки астрометрических наблюдений» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Методы обработки астрометрических наблюдений» проводится во втором семестре в форме экзамена - в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

## 10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

### Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины

	позиции.	
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: физические основы получения данных астрометрических наблюдений и их взаимосвязь УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний физических основ получения данных астрометрических наблюдений и их взаимосвязей	В целом успешные, но не систематические знания физических основ получения данных астрометрических наблюдений и их взаимосвязей	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание физических основ получения данных астрометрических наблюдений и их взаимосвязей	Успешные и систематические знания физических основ получения данных астрометрических наблюдений и их взаимосвязей
ЗНАТЬ: основные понятия математической обработки астрометрических наблюдений УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных понятий математической обработки астрометрических наблюдений	В целом успешное, но не систематическое знание основных понятий математической обработки астрометрических наблюдений	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знание основных понятий математическо й обработки астрометрических наблюдений	Успешное и систематическое знание основных понятий математической обработки астрометрических наблюдений

			наблюдений	
<b>ЗНАТЬ:</b> основные математические методы, используемые при решении задач обработки астрометрических наблюдений ОПК-1.Б З-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, используемых при решении задач обработки астрометрических наблюдений	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, используемых при решении задач обработки астрометрических наблюдений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, используемых при решении задач обработки астрометрических наблюдений	Успешное и систематическое знание основных математических методов, используемых при решении задач обработки астрометрических наблюдений
<b>УМЕТЬ:</b> строить модели редукции астрометрических наблюдений, используя критический анализ использованного оборудования и полученных данных УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели редукции астрометрических наблюдений, используя критический анализ использованного оборудования и полученных данных	В целом успешное, но не систематическое умение строить модели редукции астрометрических наблюдений, используя критический анализ использованного оборудования и полученных данных	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели редукции астрометрических наблюдений, используя критический анализ использованного оборудования и полученных данных	Успешное и систематическое умение строить теоретические модели редукции астрометрических наблюдений, используя критический анализ использованного оборудования и полученных данных
<b>УМЕТЬ:</b> планировать и проводить обработку оптических астрометрических наблюдений, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов и имеющихся фундаментальных данных результаты, полученные в	Отсутствие умения планировать и проводить обработку оптических астрометрических наблюдений, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов и имеющихся фундаментальных данных результаты, полученные в	В целом успешное, но не систематическое умение планировать и проводить обработку оптических астрометрических наблюдений, объяснять и	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение планировать и проводить обработку оптических астрометрических наблюдений, объяснять и	Успешное и систематическое умение планировать и проводить обработку оптических астрометрических наблюдений, объяснять и оценивать в рамках

законов и имеющихся фундаментальных данных результаты, полученные в процессе таких наблюдений УК-1.Б У-2	процессе таких наблюдений	оценивать в рамках основных физических законов и имеющихся фундаментальных данных результаты, полученные в процессе таких наблюдений	наблюдений, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов и имеющихся фундаментальных данных результаты, полученные в процессе таких наблюдений	основных физических законов и имеющихся фундаментальных данных результаты, полученные в процессе таких наблюдений
УМЕТЬ: решать типовые задачи анализа кадра и выбора каталога ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи анализа кадра и выбора каталога	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи анализа кадра и выбора каталога	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи анализа кадра и выбора каталога	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи анализа кадра и выбора каталога
УМЕТЬ: строить математические модели астрометрических наблюдений ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели астрометрических наблюдений	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели астрометрических наблюдений	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели астрометрических наблюдений	Успешное и систематическое умение строить математические модели астрометрических наблюдений
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в астрометрии УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в астрометрии	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в астрометрии	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в астрометрии	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в астрометрии
ВЛАДЕТЬ: методами	Отсутствие/фрагментарное владение	В целом успешное, но	В целом успешно	Успешное и систематическ

теоретического исследования приборов и объектов в астрометрии УК-1.Б В-2	методами теоретического исследования приборов и объектов в астрометрии	не систематическое владение методами теоретического исследования приборов и объектов в астрометрии	е, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования приборов и объектов в астрометрии	ое владение методами теоретического исследования приборов и объектов в астрометрии
ВЛАДЕТЬ: навыками анализа астрометрических наблюдений и обработки их результатов ОПК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагмента рное владение навыками анализа астрометрических наблюдений и обработки их результатов	В целом успешное, но не систематическое владение навыками анализа астрометрических наблюдений и обработки их результатов	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение навыками анализа астрометрических наблюдений и обработки их результатов	Успешное и систематическое владение навыками анализа астрометрических наблюдений и обработки их результатов

## 12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

*Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

Задачи можно найти по адресу: <https://yadi.sk/d/U6SMtZcf3XT0HE>

**Примеры:** 1. У телескопа увеличили вдвое апертуру и втрое увеличили светосилу. Оцените изменение точности определения координат.

2. Метрологические отличия “длиннофокусных” и “короткофокусных” инструментов.

## 13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

*Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

Вопросы к экзамену можно найти по адресу: <https://yadi.sk/d/U6SMtZcf3XT0HE>

**Пример:** Оптические системы, применяемые в астрометрии. Влияние aberrаций и дифракции на точность измерений. Роль стабильности оптической системы. Области применения различных оптических систем.

## 14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. Eichhorn H.K. Astronomy of star positions; a critical investigation of star catalogues, the methods of their construction, and their purpose, New York : Ungar, 1974, ISBN 9780804441872
2. Ковалевский Жан. Современная астрометрия. Фрязино, Век-2, 2004.
3. Теребиж В.Ю. Введение в статистическую теорию обратных задач. М: Физматлит, 2005

Дополнительная литература.

1. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. Теория и применение в астрометрии. СПб.: Наука, 1997. 318 с, ил. 53.
2. Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии. СПб.: Наука, 1989, 264
3. Куимов К.В., Астрографический каталог в системе ICRS/Hipparcos. Труды ГАИШ, т.70, 2004, М.: Янус-К, с.
4. Маррей К.Э., Векторная астрометрия, К.: Наукова думка, 1986, 328 с.
5. Теребиж В.Ю., Современные оптические телескопы. М. Физматлит, 2005, 80с
6. Шафаревич И.Р. Ремизов А.О., Линейная алгебра и геометрия, Физматлит, 2009, 512с
7. Щеглов. П.В Проблемы оптической астрономии, М. Наука, 1980, 272с
8. Benjamin B. Spratling IV and Daniele Mortari, A Survey on Star Identification Algorithms, Algorithms, 2009, 2(1), 93-107; doi:10.3390/a2010093
9. The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, ISSN 0379-6566 ISBN 92-9092-399-7 (Volumes 1-17)
10. van Leeuwen, F., Hipparcos, the New Reduction of the Raw Data, 2007, Astrophysics and Space Science Library, 350, 480P, Springer

Интернет-ресурсы.

1. <http://www.sai.msu.ru/ao/specourses/index.html>
2. <https://yadi.sk/d/U6SMtZcf3XToHE>

**Материально-техническое обеспечение**

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Астрономия».

Курс может быть прочитан в аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.