

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА небесной механики, астрометрии и гравиметрии

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

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Радиострометрия

---

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., профессор, Жаров Владимир Евгеньевич  
кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

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

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Радиоастрометрия»**

Астрометрия – раздел астрономии, целью которого является установление пространственно-временной системы координат и определение параметров движения небесных тел в этой системе.

В курсе излагаются основы радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) и использования этого метода в астрометрии. Приводится описание работы интерферометра, его структуры, конструкции отдельных элементов, излагаются основы редукции наблюдений на РСДБ, в основе чего лежит преобразование координат из земной в небесную систему координат, достижения в астрометрии при использовании этого метода.

### **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), соотнесенные 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 отведенного 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 «Радиоастрометрия» реализуется на 5-ом курсе в 9-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

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

Курсы «Астрометрия», «Сферическая астрономия», «Радиофизика»

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

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	<p><b>3-1 Знать:</b> базовые астрономические и физико-математические теории и применять их в астрометрических наблюдениях,</p> <p><b>3-2 Знать:</b> методы определения векторов положений и скоростей небесных тел из наблюдений,</p> <p><b>У-1 Уметь:</b> организовывать, проводить и обрабатывать радиоастрометрические наблюдения с целью определения кинематических характеристик небесных тел;</p> <p><b>У-2 Уметь:</b> планировать и проводить обработку наблюдений, объяснять и оценивать результаты, полученные в процессе радиоастрометрических наблюдений</p> <p><b>В-1 Владеть:</b> математическим аппаратом, применяемым в астрометрии и радиоастрономии</p> <p><b>В-2 Владеть:</b> навыками самостоятельной работы</p>
ОПК-1.Б	<p><b>3-1 Знать:</b> астрометрические методы определения координат на Земле и в космосе</p> <p><b>У-1 Уметь:</b> решать типовые задачи астрометрии</p> <p><b>В-1 Владеть:</b> навыками обработки результатов астрометрических наблюдений</p>

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

### Тема 1. Основные задачи радиоастрометрии

Краткий исторический обзор основных вех развития радиоастрономии, появления радиоинтерферометрии и использования этого метода в астрометрии. Современная международная служба РСДБ, которая координирует все международные программы в области астрометрии и геодезии.

Поскольку современная небесная система координат фиксируется координатами самых удаленных объектов во Вселенной - квазаров, то приводятся последние данные об их строении, механизмах генерации излучения.

### **Тема 2. Основы радиоастрономии**

Излагаются основы радиоастрономии, даются понятия диаграммы направленности антенны, приводятся определения точечного и протяженного источников, антенной и яркостной температуры, функции видности, чувствительности интерферометра.

### **Тема 3. Теория РСДБ**

Излагается теория РСДБ, приводится описание работы РСДБ и отдельных элементов (малошумящих усилителей, гетеродинов, преобразователей аналог-цифра, систем цифровой регистрации), дается определение измеряемых величин: амплитуды интерференционных полос (или коррелированной плотности потока), фазы интерференции (фазовой задержки), скорости изменения фазы со временем (частоты интерференции) и скорости изменения фазы с частотой (групповой задержки). Рассматриваются схемы и работа различных корреляторов.

### **Тема 4. Редукция наблюдений на РСДБ**

Излагается теория редукции наблюдений на РСДБ: учет движения радиотелескопов, преобразование времени из земной в барицентрическую систему отсчета, теория прецессии-нutationи, преобразование координат из земной в небесную систему координат, вычисление задержки радиосигнала для РСДБ, учет влияния тропосферы и ионосферы на распространение радиосигналов.

### **Тема 5. Построение линеаризованных уравнений. Методы решения систем уравнений**

Выполняется вычисление частных производных задержки по параметрам (координаты телескопов, источников, параметры вращения Земли, задержка в тропосфере). Приводятся основные алгоритмы решения линеаризованных уравнений для получения астрометрических и геодезических данных из наблюдений на РСДБ. Излагается теория метода наименьших квадратов с ограничениями на параметры для обработки отдельных сеансов, а также групповой обработки сеансов, излагается теория фильтрации Калмана для обработки РСДБ-наблюдений.

### **Тема 6. Достижения и перспективы развития РСДБ**

Излагаются основные достижения использования РСДБ в астрометрии (каталоги радиоисточников, определение параметров вращения Земли, навигация в космическом пространстве, микросекундная астрометрия). Перспективы развития РСДБ – проект VLBI2010.

## **7. Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе			Семинаров
			Общая аудиторная нагрузка	ауд.	занятий	
Радиоастрометрия	2	72	34	34	0	38

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

Изучение курса «Радиоастрометрия» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям, а также решение домашних заданий. 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 занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Основные задачи радиоастрометрии	8	4	-	-	4	Собеседование, опрос
2	Основы радиоастрономии	12	6	-	-	6	
3	Теория РСДБ	12	6	-	-	6	
4	Редукция наблюдений на РСДБ	18	8	-	-	10	
5	Построение линеаризованных уравнений. Методы решения систем уравнений	12	6	-	-	6	
6	Достижения и перспективы развития РСДБ	8	4	-	-	4	
	Промежуточная аттестация	2				2	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>38</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Радиоастрометрия» осуществляется на лекциях 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 «Радиоастрометрия» проводится в третьем семестре в форме письменной работы, экзамен 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 позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний студента 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.

Планируемы	Критерии оценивания результатов обучения
------------	--

е результаты обучения	2	3	4	5
ЗНАТЬ: фундаменталь ные законы механики и их взаимосвязь УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний фундаменталь ных законов механики и их взаимосвязей	В целом успешные, но не систематическо е знания фундаменталь ных законов механики и их взаимосвязей	В целом успешн о, но содержащее отдельные пробелы знания фундаменталь ных законов механики и их взаимосвязей	Успешные и систематические знания фундаментальны х законов механики и их взаимосвязей
ЗНАТЬ: основные понятия математическ ой обработки эксперимента механики УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных понятий математической обработки эксперимента механики	В целом успешное, но не систематическо е знание основных понятий математическо й обработки эксперимента механики	В целом успешн о, но содержащее отдельные пробелы знания основных понятий математическо й обработки эксперимента механики	Успешное и систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента механики
ЗНАТЬ: основные математическ ие методы, используемые при решении задач механики ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач механики	В целом успешное, но не систематическо е применение основных математическо х методов, при решении задач механики	В целом успешн о, но содержащее отдельные пробелы знания основных математическо х методов, при решении задач механики	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач механики
УМЕТЬ: строить теоретические модели механики, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели механики, используя критически анализ данных	В целом успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели механики, используя критически анализ данных	В целом успешн о, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели механики, используя критически анализ данных	Успешное и систематическое умение строить теоретические модели механики, используя критически анализ данных
УМЕТЬ:	Отсутствие	В целом	В	Успешное и

планировать и проводить эксперимента льные исследования в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента УК-1.Б У-2	умения планировать и проводить эксперименталь ные исследования в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	успешное, но не систематическо е умение планировать и проводить эксперименталь ные исследования в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	целом успешн ое, но содержащее отдельные пробелы умение планировать и проводить эксперименталь ные исследования в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	систематическое планировать и проводить эксперименталь ные исследования в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента
УМЕТЬ: решать типовые задачи механики ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи	В целом успешное, но не систематическо е умение решать типовые задачи	В целом успешн ое, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи
УМЕТЬ: строить математическ ие модели явлений и процессов механики ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели физических явлений и процессов	В целом успешное, но не систематическо е умение строить математически е модели физических явлений и процессов	В целом успешн ое, но содержащее отдельные пробелы умение строить математически е модели физических явлений и процессов	Успешное и систематическое умение строить математические модели физических явлений и процессов
ВЛАДЕТЬ: математическ им аппаратом, применяемым в механике УК-1.Б В-1	Отсутствие/фраг ментарное владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в механике	В целом успешное, но не систематическо е владение математически м аппаратом, математически м аппаратом,	В целом успешн ое, но содержащее отдельные пробелы владение математически м аппаратом,	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в механике

		применяемым в механике	математическим аппаратом, применяемым в механике	
ВЛАДЕТЬ: методами теоретического исследования явлений и процессов в механике УК-1.Б В-2	Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в механике	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в механике	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в механике	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в механике
ВЛАДЕТЬ: навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов ОПК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов	В целом успешное, но не систематическое владение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов	Успешное и систематическое владение навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов

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

*Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

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

*Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

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

Основная литература.

1. Жаров В.Е. Основы радиоастрометрии. Рекомендовано УМО по классическому университетскому образованию в РФ качестве учебного пособия для студентов ВУЗ'ов, обучающихся по специальности "Астрономия". Физический факультет МГУ. 2011. 280 с.

2. Томпсон А.Р., Моран М.М., Свенсон-мл. Д.У. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии. 2-е изд. М.: Физматлит, 2003.

Дополнительная литература.

Губанов В.С., Финкельштейн А.М., Фридман П.А. Введение в радиоастрометрию. М.: Наука. 1983.

### **Материально-техническое обеспечение**

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

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