

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:**

Сферическая астрономия

---

**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 «Сферическая астрономия»**

Курс является одним из базовых общеобразовательных курсов астрономической специальности. В нем формулируется главная задача сферической астрономии как одного из разделов астрометрии - определение положения наблюдателя в пространстве и во времени, а также изучаются вопросы, связанные с взаимным расположением различных объектов на небесной сфере.

Курс делится на шесть частей. Первая часть курса посвящена определению систем координат на небесной сфере и преобразованию координат вектора из одной системы в другую.

Во второй части рассматриваются различные шкалы времени, используемые в современной астрометрии.

Третья часть курса посвящена определению топоцентрической, геоцентрической, гелиоцентрической и барицентрической систем координат.

Четвертая часть курса посвящена вопросам исправления наблюдаемых координат и приведению их к барицентрической системе.

Основы теории прецессии и нутации даются в пятой части курса.

В шестой части курса рассматриваются основы метода РСДБ, дается характеристика небесной и земной систем координат, которые задаются координатами радиоисточников и радиотелескопов, соответственно.

### **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 «Сферическая астрономия» реализуется на 1-ом курсе в 2-ом семестре и является составной частью модуля «Астрономия» профессионального блока базовой части.

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

Курс «Общей астрономии», курсы «Аналитической геометрии» и «Линейной алгебры»

## 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	<i>З-1 Знать:</i> базовые астрономические и физико-математические теории и применять их в научных исследованиях, <i>З-2 Знать:</i> знать основные понятия и математический аппарат, используемый в задачах сферической астрономии <i>У-1 Уметь:</i> уметь формировать цели работы, принимать решения; <i>У-2 Уметь:</i> планировать и проводить обработку наблюдений, объяснять и оценивать результаты, полученные в процессе астрометрических наблюдений <i>В-1 Владеть:</i> математическим аппаратом, применяемым в сферической астрономии <i>В-2 Владеть:</i> навыками самостоятельной работы
ОПК-1.Б	<i>З-1 Знать:</i> основные математические методы, используемые в сферической астрономии <i>У-1 Уметь:</i> решать типовые задачи сферической астрономии <i>В-1 Владеть:</i> навыками обработки результатов астрометрических наблюдений

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

### Тема 1. Введение. Основы сферической тригонометрии

Предмет сферической астрономии и межпредметные связи курса. Краткий исторический обзор развития сферической астрономии как раздела астрометрии.

Структура курса. Основные задачи, решаемые сферической астрономией: определение сферических систем координат, определение шкал времени и единиц времени, преобразование между системами координат и между шкалами времени, учет эффектов, искажающих положение небесных объектов. Рост точности наблюдений и точность редуцированных вычислений.

Основные понятия: небесная сфера, основные круги и точки на небесной сфере, двугранный угол, сферический треугольник. Основные свойства сферического треугольника. Вывод основных формул сферической тригонометрии: формул синусов, косинусов и подобия. Сферические и прямоугольные координаты точки на небесной сфере.

### **Тема 2. Определение координатных систем на небе и Земле. Позиционная астрономия.**

Горизонтальная, экваториальная, эклиптическая и галактическая системы координат. Определение основных кругов и точек. Выделенные направления: отвесная линия и ось вращения Земли. Определение координат: азимута и высоты источника над горизонтом, прямого восхождения и склонения, эклиптической долготы и широты, галактической долготы и широты. Определение начала отсчета прямых восхождений. Определение эклиптики.

Преобразование координат из одной системы в другую. Углы Эйлера. Матрицы преобразования координат.

Топоцентрическая, геоцентрическая, гелиоцентрическая и барицентрическая системы координат. Понятие о небесной (ICRS) и земной (ITRS) системах координат. Изменение координат наземных пунктов. Модели тектонического движения плит.

Основные параметры фигуры Земли. Геоид и референц-эллипсоид. Определение геодезических координат. Связь геодезических координат с геоцентрическими. Астрономические координаты и локальное отклонение отвесной линии.

### **Тема 3. Шкалы времени. Неравномерность вращения Земли.**

Кульминация звезды. Определение момента прохождения источника через меридиан. Солнечное истинное и среднее время. Уравнение времени. Всемирное время. Системы Всемирного времени: UT0, UT1, UT2, Всемирное координированное UTC. Атомное время. Принцип формирования шкалы атомного времени. Стабильность шкалы атомного времени. Атомная секунда (секунда СИ).

Местное, поясное и декретное время. Часовые пояса.

Звездное время: истинное и среднее. Связь Всемирного и звездного времени. Вычисление истинного или среднего звездного времени по местному времени и обратно.

Летосчисление. Юлианская дата. Юлианский год. Тропический и звездный год.

Динамические шкалы времени. Эфемеридное время. Эфемеридная секунда. Барицентрическое и земное динамическое время. Преобразование от шкалы Всемирного времени к барицентрическому динамическому времени.

Пульсарная шкала времени. Стабильность пульсарной шкалы времени.

Причины изменения угловой скорости вращения Земли. Вековые, декадные, периодические изменения продолжительности суток. Движение полюса. Редукция за движение полюса.

### **Тема 4. Редукция астрометрических наблюдений. Эффекты, искажающие положение источников на небесной сфере.**

Рефракция. Вывод уравнения рефракции для плоскопараллельной и сферически-симметричной атмосферы. Таблицы рефракции. Влияние рефракции на прямое восхождение и склонение звезды. Рефракция при наблюдениях в радиодиапазоне. Задержка радиосигнала в ионосфере и тропосфере. Методы и точность учета задержки радиосигнала.

Аберрация. Историческая справка. Причины абберационного смещения звезд. Суточная, годовая и вековая аберрация. Изменение координат звезды из-за аберрации. Приближенные и точные формулы учета годичной аберрации. Планетная аберрация.

Параллактическое смещение звезд. Тригонометрические параллаксы. Изменение экваториальных координат звезд из-за параллактического смещения. Горизонтальный параллакс. Определение астрономической единицы. Отрицательные параллаксы.

Собственные движения звезд. Преобразование координат звезд от одной эпохи наблюдений к другой. Вековой параллакс. Метод Шлезингера определения относительных тригонометрических параллаксов и собственных движений. Абсолютизация тригонометрических параллаксов и собственных движений. Космические астрометрические проекты. Проект HIPPARCOS и его результаты. Каталоги тригонометрических параллаксов и собственных движений. Точность измерения.

Редукция наблюдений.

#### **Тема 5. Учет прецессии и нутации при астрометрических наблюдениях**

Историческая справка. Причины прецессии и нутации. Основы математической теории прецессии и нутации. Прецессия от планет.

Понятие эпохи наблюдения, эпохи каталога, эпохи равноденствия. Средняя и истинная системы координат. Точные формулы учета влияния прецессии и нутации на координаты источников. Матрицы прецессии и нутации. Использование Ежегодника для учета прецессии и нутации. Уравнение равноденствий. Вычисление истинного звездного времени.

#### **Тема 6. Основы редукции радиоинтерферометрических наблюдений**

Принципы наблюдений на РСДБ. Редукция наблюдений. Методы определения координат радиоисточников и радиотелескопов. Принципы построения земной (ITRF) и небесной (ICRF) систем координат. Микросекундная точность наблюдений и проблема стабильности небесной системы координат.

### **7. Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе				
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Сферическая астрономия	2	72	51	34	17	21	

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

Изучение курса «Сферическая астрономия» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным, семинарским занятиям, а также решение домашних заданий. 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 занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Введение. Основы сферической тригонометрии	8	4	-	2	2	Собеседование, опрос
2	Определение координатных систем на небе и Земле. Позиционная астрономия.	14	6	-	4	4	
3	Шкалы времени. Неравномерность вращения Земли.	15	8	-	3	4	
4	Редукция астрометрических наблюдений. Эффекты, искажающие положение источников на небесной сфере	17	8	-	4	5	
5	Учет прецессии и нутации при астрометрических наблюдениях	8	4	-	2	2	
6	Основы редукции радиointерферометрических наблюдений	8	4	-	2	2	
	Промежуточная аттестация	2				2	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Сферическая астрономия» 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 «Сферическая астрономия» проводится во втором 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.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: фундаментальные законы	Отсутствие знаний фундаментальн	В целом успешные, но не	В целом успешно, но	Успешные и систематические знания



механики и их взаимосвязь УК-1.Б 3-1	ых законов механики и их взаимосвязей	систематическое знание фундаментальных законов механики и их взаимосвязей	содержащее отдельные пробелы знания фундаментальных законов механики и их взаимосвязей	фундаментальных законов механики и их взаимосвязей
ЗНАТЬ: основные понятия математической обработки эксперимента механики УК-1.Б 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных понятий математической обработки эксперимента механики	В целом успешное, но не систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента механики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных понятий математической обработки эксперимента механики	Успешное и систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента механики
ЗНАТЬ: основные математические 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 систематическое применение основных математических методов, при решении задач механики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических 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 систематическое умение строить теоретические модели механики, используя критически анализ данных	В целом успешное, 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: планировать и проводить экспериментальные исследования	Отсутствие умения планировать и проводить экспериментальные	В целом успешное, но не систематическое умение планировать и	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное и систематическое планировать и проводить экспериментальные

в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента УК-1.Б У-2	исследования в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	проводить экспериментальные исследования в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	умение планировать и проводить экспериментальные исследования в области механики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента	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 систематическое умение решать типовые задачи	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи
УМЕТЬ: строить математические модели явлений и процессов механики ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели физических явлений и процессов	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели физических явлений и процессов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели физических явлений и процессов	Успешное и систематическое умение строить математические модели физических явлений и процессов
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в механике УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым в механике	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в механике	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым в механике	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в механике
ВЛАДЕТЬ:	Отсутствие/фраг	В целом	В	Успешное и

методами теоретического исследования явлений и процессов в механике УК-1.Б В-2	ментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в механике	успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в механике	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в механике	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*

#### 1 вариант

1) 21 июня склонение Солнца равно  $23^{\circ}27'$ .

На какой широте продолжительность дня для 21 июня равна трём часам.

2) Незаходящая звезда имеет высоту  $20^{\circ}$  в нижней кульминации и  $50^{\circ}$  в верхней. Найти склонение этой звезды и широту места наблюдения.

(Чертёж обязателен.)

3) Задана долгота Солнца  $L$ . Доказать, что  $\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}L \cos\varepsilon$ . ( $\alpha$  – прямое восхождение Солнца,  $\varepsilon$  - наклонение эклиптики к экватору).

#### 2 вариант

1) Вычислить прямое восхождение Солнца, зная его долготу  $L=39^{\circ}55'47''$  и наклонение эклиптики к экватору  $\varepsilon = 23^{\circ}26'52''$ .

2) Получить матрицу преобразования координат вектора из локальной топоцентрической системы (ось  $x$  к востоку, ось  $y$  – к северу, ось  $z$  - вверх) к системе координат ITRF, жестко связанной с Землей ( $X, Y, Z$ ).

3) Наблюдатель находится в Иркутске ( $\lambda = 105^\circ$ , 8 часовой пояс). В какой момент по московскому времени Солнце кульминирует в Иркутске?

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

#### *Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

#### **1 вариант**

1) Широта Москвы  $\varphi = 55^\circ 45'$ . Определить угловое расстояние от точки зенита в Москве до полюса Мира.

2) Преобразовать из экваториальной в эклиптическую систему координаты звезды  $\alpha = 305,5^\circ$   $\delta = 40,5^\circ$ .

3) Доказать, что если в сферическом треугольнике сторона  $a = 90^\circ$ , то  $\operatorname{tg}C = -\operatorname{tg}A \cos b$ .

#### **2 вариант**

1) Найти те точки сферы, для которых эклиптическая долгота равна прямому восхождению, а эклиптическая широта равна склонению.

2) Доказать, что если в сферическом треугольнике сторона  $a = 90^\circ$ , то  $\operatorname{tg}B = \operatorname{tg}b \sin C$ .

3) Преобразовать координаты звезды  $X, Y, Z$  (ось  $Z$  – направлена в точку весеннего равноденствия,  $X$  – в северный полюс мира,  $Y$  – дополняет систему до правой) в экваториальную систему координат  $(\alpha, \delta)$ . Ответ записать в виде матрицы.

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

#### Основная литература.

1. Жаров В.Е. Сферическая астрономия. Рекомендовано УМО по классическому университетскому образованию в качестве учебника для студентов ВУЗ'ов, обучающихся по специальности "Астрономия". Фрязино, Век-2. 2006. 480 с.
2. Green R.M. Spherical astronomy. Cambridge University Press. 1985. 520 p.
3. Куликов К.А. Курс сферической астрономии. М.: Наука, 1976. 232 с.

#### Дополнительная литература.

Жаров В.Е. Время. Большая Российская энциклопедия. 2006. Т.6. С.24.

Куимов К.В., Жаров В.Е. Астрономическая навигация, Земля и Вселенная, «Наука», 2008, т. 5, с. 3-15.

1. Жаров В.Е., Сажин М.В., Семенцов В.Н., Куимов К.В., Сажина О.С., Ашимбаева Н.Т. Принципы формирования списка опорных радиоисточников для небесной системы координат. *Астрономический журнал* Том 87, Номер 2, Февраль 2010, С. 132-140, 2010
  2. V. E. Zharov, M. V. Sazhin, V. N. Sementsov, K. V. Kuimov, O. S. Sazhina and N. T. Ashimbaeva. «The celestial reference frame stability and apparent motions of the radio sources». *Relativity in Fundamental Astronomy Proceedings IAU Symposium No. 261, 2009*. S. A. Klioner, P. K. Seidelman & M. H. Soffel, eds. P.50 – 55.
  3. В. Е. Жаров, М. В. Сажин, В. Н. Семенцов, К. В. Куимов, О. С. Сажина «Физические причины вариации видимого положения квазаров». *Астрономический журнал*. 2009, том 86, №7, с. 627–637.
- Интернет-ресурсы.  
<http://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/lecture/lecture.htm>

#### **Материально-техническое обеспечение**

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

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