

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:**

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

---

**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 «Вращение Земли»**

В данном курсе излагается теория вращения Земли. Последовательно рассматриваются модели абсолютно твердой Земли, модель Пуанкаре (твердая мантия и однородное жидкое ядро), модель Молоденского и теория Сасао-Окубо-Саито (упругая мантия, неоднородное жидкое ядро, упругое внутреннее ядро). Рассматривается влияние на вращение Земли приливов, атмосферы. Рассматриваются методы и средства наблюдений для изучения вращения Земли: классические оптические инструменты, лазерные дальнометры, радиоинтерферометры со сверхдлинными базами (РСДБ).

### **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 «Вращение Земли» реализуется во 7-ом семестре и является составной частью модуля «Астрономия» профессионального блока базовой части.

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

Курсы «Сферическая астрономия», «Астрометрия», «Гравиметрия»

## 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	<p><b>З-1 Знать:</b> базовые астрономические и механико-математические теории и применять их в теоретических вычислениях</p> <p><b>З-2 Знать:</b> кинематические и динамические уравнения Эйлера и методы их решения</p> <p><b>У-1 Уметь:</b> использовать базы данных, содержащих информацию о вращении Земли;</p> <p><b>У-2 Уметь:</b> объяснять и оценивать разность между теоретическими и измеряемыми параметрами вращения Земли</p> <p><b>В-1 Владеть:</b> математическим аппаратом, применяемым в теории вращения Земли</p> <p><b>В-2 Владеть:</b> навыками самостоятельной работы</p>
ОПК-1	<p><b>З-1 Знать:</b> основные теории вращения Земли</p> <p><b>У-1 Уметь:</b> решать типовые задачи теории вращения Земли</p> <p><b>В-1 Владеть:</b> навыками обработки результатов РСДБ наблюдений</p>

4. **Форма обучения:** очная.

5. **Язык обучения:** русский.

6. **Содержание дисциплины**

### 1. Основные задачи курса

Изложение основных положений: методологических, астрономических, геофизических, используемых при изучении вращения Земли.

#### Вращение абсолютно твердой Земли

Динамические уравнения Эйлера. Свободное вращение абсолютно твердой Земли. Собственные моды. Частота Эйлера. Вынужденное вращение и решение неоднородных уравнений Эйлера.

Кинематические уравнения Эйлера. Уравнения Пуассона – основа классической теории прецессии и нутации.

### 2. Динамика деформируемой Земли

Основные кинематические соотношения. Оси Тиссерана. Определение земной системы координат (ITRS) и её реализаций (ITRF). Приливная деформация. Числа Лява. Связь произведений инерции и тессеральных гармоник в разложении гравитационного потенциала по сферическим гармоникам (формула МакКулло). Вращательная

деформация. Нагрузочная деформация и нагрузочные числа. Уравнения Эйлера - Лиувилля. Движение полюсов для упругой модели Земли.

3. Влияние атмосферы на вращение Земли

Определение функций возбуждения. Решение уравнений Эйлера – Лиувилля: определение движения полюса и скорости вращения по геофизическим данным и, наоборот, возбуждающих функций по измеренным координатам полюса и скорости вращения. Атмосферные эффекты для абсолютно твердой Земли. Атмосферные эффекты для упругой Земли. Влияние атмосферы на движение полюсов и скорость вращения.

4. Теория нутации абсолютно твердой Земли – теория Вуларда

Решение уравнений Пуассона для абсолютно твердой Земли.

5. Теория Пуанкаре

Модель Пуанкаре: твердая мантия и однородное жидкое ядро. Обобщение уравнений Эйлера для модели Пуанкаре. Собственные моды, частота почти суточной нутации.

6. Теория Сасао-Окубо-Саито

Модель Молоденского (упругая мантия, неоднородное жидкое ядро, упругое внутреннее ядро). Уравнения движения, тензор напряжений. Статическое сферическое приближение. Потенциальная энергия упругой Земли. Уравнения Сасао-Окубо-Саито и их решение.

7. Модификация теории Сасао-Окубо-Саито

Новая теория прецессии-нутации IAU2000 – основные уравнения.

8. Аппаратура для измерения координат полюса и скорости вращения

Методы и инструменты для изучения вращения Земли. Классические астрометрические инструменты (пассажные и меридианные инструменты, фотографические зенитные трубы), основные ошибки. Методы, основанные на наблюдениях искусственных спутников Земли (лазерная дальнометрия, доплеровские измерения). Глобальные навигационные системы GPS/ГЛОНАСС, их применение для измерения координат полюса и скорости вращения Земли. Лазерная локация Луны. Радиointерферометры со сверхдлинными базами (РСДБ).

Международная служба вращения Земли и систем отсчета (IERS)

Основные задачи службы, структура и организация работы, основные достижения. Публикации и база данных IERS.

**7. Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Вращение Земли	2	72	36	36	-	36

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

Изучение курса «Вращение Земли» 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 курса Вращение абсолютно твердой Земли	7	3	-	-	4	Собеседование, опрос
2	Динамика деформируемой Земли	9	5	-	-	4	
3	Влияние атмосферы на вращение Земли	9	5	-	-	4	
4	Теория нутации абсолютно твердой Земли – теория Вуларда	9	5	-	-	4	
5	Теория Пуанкаре	9	5	-	-	4	
6	Теория Сасао-Окубо-Сайто	9	5	-	-	4	
7	Модификация теории Сасао-Окубо-Сайто	9	5	-	-	4	
8	Аппаратура для измерения координат полюса и скорости вращения Международная служба вращения Земли и систем отсчета (IERS)	7	3	-	-	4	
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Вращение Земли» 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 «Вращение Земли» проводится в седьмом семестре в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи зачета 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: базовые астрономические и механико-математические теории и применять их в теоретических вычислениях УК-1 З-1	Отсутствие знаний базовых астрономических и механико-математических теорий и применять их в теоретических вычислениях	В целом успешные, но не систематические знания базовых астрономических и механико-математических теорий и применять их в теоретических вычислениях	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания базовых астрономических и механико-математических теорий и применять их в теоретических вычислениях	Успешные и систематические знания базовых астрономических и механико-математических теорий и применять их в теоретических вычислениях
ЗНАТЬ: кинематическое и динамические уравнения Эйлера и методы их решения УК-1 З-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание кинематических и динамических уравнений Эйлера и методов их решения	В целом успешное, но не систематическое знание кинематических и динамических уравнений Эйлера и методов их решения	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знаний кинематических и динамических уравнений Эйлера и методов их решения	Успешное и систематическое знание кинематических и динамических уравнений Эйлера и методов их решения
ЗНАТЬ: основные теории вращения Земли ОПК-1 З-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных теорий вращения Земли	В целом успешное, но не систематическое применение основных теорий вращения Земли	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных теорий вращения Земли	Успешное и систематическое знание основных теорий вращения Земли
УМЕТЬ: использовать базы данных, содержащих информацию о вращении Земли УК-1 У-1	Отсутствие умения использовать базы данных, содержащих информацию о вращении Земли	В целом успешное, но не систематическое умение использовать базы данных, содержащих	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение использовать	Успешное и систематическое умение использовать базы данных, содержащих информацию о вращении Земли

		информацию о вращении Земли	базы данных, содержащих информацию о вращении Земли	
УМЕТЬ: объяснять и оценивать разность между теоретическими и измеряемыми параметрами вращения Земли УК-1 У-2	Отсутствие умения объяснять и оценивать разность между теоретическими и измеряемыми параметрами вращения Земли	В целом успешное, но не систематическое умение объяснять и оценивать разность между теоретическим и измеряемыми параметрами вращения Земли	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение объяснять и оценивать разность между теоретическим и измеряемыми параметрами вращения Земли	Успешное и систематическое умение объяснять и оценивать разность между теоретическими и измеряемыми параметрами вращения Земли
УМЕТЬ: решать типовые задачи теории вращения Земли ОПК-1 У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи теории вращения Земли	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи теории вращения Земли	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умения решать типовые задачи теории вращения Земли	Успешное и систематическое умения решать типовые задачи теории вращения Земли
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в теории вращения Земли УК-1 В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым в теории вращения Земли	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в теории вращения Земли	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым в теории вращения Земли	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в теории вращения Земли
ВЛАДЕТЬ: навыками самостоятельной работы УК-1 В-2	Отсутствие/фрагментарное владение навыками самостоятельной работы	В целом успешное, но не систематическое владение навыками самостоятельно	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение	Успешное и систематическое владение навыками самостоятельной работы

		й работы	навыков самостоятельно й работы	
ВЛАДЕТЬ: навыками обработки результатов РСДБ наблюдений ОПК-1 В-1	Отсутствие/фрагментарное владение навыками обработки результатов РСДБ наблюдений	В целом успешное, но не систематическое владение навыками обработки результатов РСДБ наблюдений	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение навыками обработки результатов РСДБ наблюдений	Успешное и систематическое владение навыками обработки результатов РСДБ наблюдений

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

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

#### *Примеры заданий:*

1. Оценить изменение координат полюса при разных возбуждающих функциях: типа дельта-функции и типа «ступеньки».

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

### *Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

#### *Примеры заданий:*

1. Редукция наблюдений: вычисление матрицы преобразования на эпоху J2000.0.
2. Преобразование от шкалы времени ТТ к шкале ТСВ.

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

#### Основная литература.

1. Г.Мориц, А.Мюллер. Вращение Земли: теория и наблюдения. Киев: Наукова Думка. 1992
2. У.Манк, Г.Макдональд. Вращение Земли. М.:Мир, 1964
3. Н.С.Сидоренков Физика неустойчивостей вращения Земли. М., 2002.

#### Дополнительная литература.

Dehant V., Arias F., Bizouard Ch., et al. «Considerations concerning the non-rigid Earth nutation theory». Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, 1999, p.341-380.

#### **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.