

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ, АСТРОМЕТРИИ И ГРАВИМЕТРИИ**

УТВЕРЖДАЮ

**_____ /
«___» _____ 20 г.**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Теория фигуры Земли

**Уровень высшего образования:
Специалитет**

Специальность:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Общая специальность

**Форма обучения:
Очная**

Москва 2024

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», утвержденным приказом МГУ от 30.12.2020 г. № 1381.

Год (годы) приема на обучение_____

Авторы-составители:

1. д.ф-м.н., Пантелейев Валерий Леонтьевич, кафедра Небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ
2. д.ф-м.н., Зотов Леонид Валентинович, кафедра Небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой
Профессор, д.ф.-м.н., Жаров Владимир Евгеньевич, заведующий Небесной механики, астрометрии и гравиметрии

Аннотация к рабочей программе дисциплины Теория фигуры Земли

Фигура Земли – в идеальном представлении равновесная фигура, которую должна принять планета под действием притяжения всех элементарных масс, из которых она состоит, в соответствии с законом всемирного тяготения (обратных квадратов), а также в результате собственного вращения и возникающих от этого центробежных сил. Такая поверхность равного потенциала силы тяжести, максимально близко проходящая к поверхности океанов и морей, называется *геоидом*. Теория фигуры Земли (ТФЗ) - раздел науки, занимающийся в первую очередь теоретическим построением модели геоида, его определением по наземным и космическим измерениям. По поверхности геоида установился бы равновесный уровень моря в невозмущенном состоянии. Поскольку Земля обладает твердой литосферой и может выдерживать напряжения и нагрузки, связанные с особенностями её формы и строения, реальная поверхность планеты отличается от теоретической. В зависимости от задач, под фигурой Земли можно понимать *земную поверхность* - поверхность твёрдой оболочки и осреднённую поверхность Мирового океана, *уровенную поверхность* или геоид, *отсчётную поверхность* - упрощённую геометрическую фигуру, наилучшим образом представляющую планету в физическом смысле, как например эллипсоид или сферион.

ТФЗ изучает ряд вопросов физической геодезии, таких как распределение аномалий силы тяжести, уклонений отвесной линии, решаются задача Стокса нахождения внешнего по отношению к уровенной поверхности поля и задача Молоденского построения квази-геоида на море и на континентах. Для представления гравитационного поля используется его разложение по сферическим гармоникам.

В рамках представленного курса лекций будут рассмотрены классические и современные прикладные задачи ТФЗ.

Дисциплина реализуется на 5 курсе в 10 семестре и является дисциплиной по выбору для освоения обучающимися.

Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 38 академических часа, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) – зачет в 10 семестре.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

(относится к базовой или вариативной части, является обязательной для освоения или дисциплиной по выбору, является факультативом)

Дисциплина «Теория фигуры Земли» является дисциплиной по выбору.

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

Курс базируется на знании таких предметов, как уравнения математической физики, теория потенциала, дифференциальные уравнения и др.

(указать, если требуются, в следующей последовательности: входная компетенция или входные результаты обучения или перечень освоенных ранее дисциплин (модулей), практик)

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
		<p>Знать геодезические системы координат, разложение по сферическим функциям, постановку задачи Дирихле и Неймана, теорему Стокса, формулу Сомильяны, подходы к задаче построения квазигеоида Молоденского</p> <p>Уметь работать с коэффициентами Стокса, рассуждать об изменениях фигуры Земли под действием приливных и климатических факторов, уметь связать эти изменения с особенностями во вращении Земли</p> <p>Владеть/Иметь опыт работы с данными GRACE/ GFO</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 34 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 38 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (ак.ч.)	В том числе					Форма текущего контроля успеваемости, наименование	
		Занятия лекционного типа (лекции)	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, академические часы¹</i>			Всего		
			Семинары	Лабораторные занятия*	Практические занятия*			
Тема 1 Теория фигуры Земли Предмет теории фигуры Земли. "Фигуры" и строения планет. Геодинамика. Основные понятия физической геодезии. История изучения фигуры Земли. Космическая геодезия.	7	3				4	Опрос	
Тема 2 Геодезические системы координат	7	3				4	Опрос	

¹Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

Сферическая система. Широта долгота и радиус-вектор. Система координат, построенная на эллипсоиде. Геодезические координаты: широта, долгота и высота. Связь между сферической, геодезической и декартовой системами координат.							
Тема 3 Основные формулы теории потенциала Интеграл Дирихле, первая, вторая и третья формулы Грина. Гармонические функции и их свойства, теоремы о гармонических функциях. Шаровые и сферические функции. Дифференциальное уравнение для сферических функций и его решение.	7	4				3	
Тема 4 Сферические функции Полиномы Лежандра и сферические функции. Ортогональность сферических функций. Нормирование. Ряд Лапласа. Аналитическое представление функций, заданных на сфере. Функции Лапласа.	7	4				3	Опрос
Тема 5 Аналитическое представление гравитационного потенциала	6	3				3	Контрольная работа,

Производящая функция полиномов Лежандра. Разложение потенциала притяжения в ряд по шаровым функциям. Стоксовы постоянные. Гравитационный потенциал тела вращения. Потенциал тяжести.							
Тема 6 Нормальная Земля Нормальный потенциал тяжести. Четыре фундаментальных, определяющих потенциал тяжести. СфEROид Клеро. Теорема Стокса. Гравитационный потенциал эллипсоида вращения. Дифференциальные уравнения, определяющие потенциал притяжения эллипсоида. Условия гидростатического равновесия эллипсоида вращения.	6	3				3	Опрос
Тема 7 Нормальное поле тяжести Земли Формула Сомильяны. Нормальная сила тяжести. Вторые производные гравитационного потенциала. Локальное уравнение поверхности уровня. Кривизны и радиусы кривизны нормального сечения поверхности уровня. Вторые производные нормального потенциала.	6	3				3	

Первые и вторые производные гравитационного потенциала в околосолнечном пространстве.							
Тема 8 Определение фигуры геоида Возмущающий потенциал, гравитационные аномалии. Краевое условие для возмущающего потенциала. Внешние и внутренние краевые задачи Дирихле, Неймана, смешанные краевые задачи. Определение высот геоида методом Стокса. Функция Стокса. Определение уклонений отвеса. Формулы Венинг-Мейнеса.	7	4				3	Опрос
Тема 9 Квазигеоид Молоденского Основные трудности решения проблемы Стокса. Проблема регуляризации Земли. Система высот. Геодезическая, ортометрическая и нормальная высоты. Квазигеоид. Аномалия высоты. Теллурид. Краевые условия задачи Молоденского.	8	4				4	
Тема 10 GRACE, GFO, GOCE и результаты космических гравиметрических миссий	7	3				4	Контрольная работа

Основные достижения спутниковой гравиметрии. Построение спутниковых моделей ГПЗ. Их применение в гидрологии, климатологии, теории вращения Земли.							
Промежуточная аттестация экзамен	4					4²	
Итого	72					38	

*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

²Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося

6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Примеры вопросов устного опроса:

1. Что такая нормальная сила тяжести?
2. Как разложить внешнее поле в ряд Лапласа?
3. Как меняется потенциал к центру Земли?
4. Почему Молоденский ввел понятие квазигеоида?

Пример контрольной работы:

1. Поставьте краевые задачи Неймана, Дирихле.
2. Напишите ряд по сферическим функциям, дайте классификацию гармоник.
3. Как связаны компоненты тензора инерции и коэффициенты Стокса C_{20} , C_{21} , S_{21} ?

Промежуточная аттестация (экзамен).

Пример вопроса:

Дайте определение геоида. Методы его построения.

Пример задачи:

Получите карту гравитационного поля Земли в величинах эквивалентного уровня воды по коэффициентам Стокса по данным ГFO.

6.2. Шкала и критерии оценивания

(шкала и критерии оценивания могут быть типовыми для всех дисциплин (модулей), входящих в ОПОП ВО)

7. Ресурсное обеспечение

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Курс лекций по ТФЗ В.Л. Пантелеева

<http://lnfm1.sai.msu.ru/grav/russian/lecture/tfe/index.html>

Грушинский Н.М. Теория фигуры Земли Москва, Наука, 1976 г.

А. Клеро, Теория фигуры Земли, основанная на началах гидростатики. АН СССР, 1947

- Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения Octave, Matlab

•

Программы Frederic J. Simons

<https://fjsimons.princeton.edu/>

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Международный центр глобальных моделей Земли ICGEM <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Конференция GFO STM

<https://grace.jpl.nasa.gov/events/19/2023-grace-fo-science-team-meeting/>

- Описание материально-технической базы Персональные Компьютеры, soft.

8. Язык преподавания: русский.