

**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., Пантелеев 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 представляющая планету в физическом смысле, как например эллипсоид или сфероид. ТФЗ изучает ряд вопросов физической геодезии, таких как распределение аномалий силы тяжести, отклонений 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
		Знать геодезические системы координат, разложение по сферическим функциям, постановку задачи Дирихле и Неймана, теорему Стокса, формулу Сомильяны, подходы к задаче построения квазигеоида Молоденского 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 Владеть/Иметь опыт работы с данными GRACE/ GFO

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					Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Форма текущего контроля успеваемости, наименование
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы ¹						
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа			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 постоянных, определяющих потенциал тяжести. Сфероид 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 Соммерфельда. 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 околоземном 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. Теллуroid. 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 такое 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 GFO.

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.