



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
(МИИГАиК)

Геодезический факультет
Кафедра высшей геодезии



**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 5387FD2AF5B17FED816FDE9A1D4973B1
Владелец: Степанченко Алексей Леонидович
Действителен: с 21.07.2025 по 14.10.2026

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор
А. Л. Степанченко
17 февраля 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
ДИСЦИПЛИНЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ
«Б1.В.03.02 ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ГРАВИМЕТРИЯ»**

Уровень высшего образования: бакалавриат

Направление подготовки: 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование

Направленность(профиль) подготовки: Космическая геодезия и навигация

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Год набора (приема на обучение): 2023

Срок получения образования: 4 года

Объем:
в зачетных единицах: 6 з.е.
в академических часах: 216 ак.ч.

Москва, 2023

Разработчики:

Преподаватель кафедры высшей геодезии Юзефович П. А.

Рабочая программа дисциплины (модуля) составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование, утвержденного приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 972

Согласование и утверждение

№	Подразделение	Ответственное лицо	ФИО	Виза	Дата, протокол (при наличии)
1	Геодезический факультет	Председатель ученого совета факультета	Половнев О. В.	Рассмотрено	23.01.2023, № 8

Содержание

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)
2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы
3. Место дисциплины в структуре ОП
4. Объем дисциплины и виды учебной работы
5. Содержание дисциплины
 - 5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий
 - 5.2. Содержание разделов, тем дисциплины и формы текущего контроля
6. Оценочные материалы текущего контроля
7. Оценочные материалы промежуточной аттестации
8. Порядок проведения промежуточной аттестации
9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины
 - 9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы
 - 9.2. Профессиональные базы данных и ресурсы «Интернет», к которым обеспечивается доступ обучающихся
 - 9.3. Программное обеспечение и информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине
 - 9.4. Оборудование и технические средства обучения
10. Методические указания по освоению дисциплины (модуля)

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель освоения дисциплины - получение обучающимися теоретических знаний об основных проявлениях, методах определения, измерения и описания неоднородностей гравитационного поля Земли, их влиянии и учете при производстве геодезических работ, а также в формировании практических навыков в решении научно-технических и практических задач по созданию и поддержанию государственных систем координат и высот, а также гравиметрической системы для решения научно-технических и производственных задач в данной профессиональной сфере

Задачи изучения дисциплины:

- формирование понятия о закономерностях проявления гравитационного поля Земли, представления о неоднородностях гравитационного поля в глобальном и локальном масштабе и об их роли в решении геодезических задач;
- освоение навыков проведения измерений гравитационного поля в локальных масштабах, навыков работы с вычислительной техникой для совместной обработки геодезических и гравиметрических данных;
- получение компетенций для анализа и интерпретации результатов совместной вычислительной обработки геодезических и гравиметрических данных;
- формирование умений применять полученные знания в практической деятельности, решать практические задачи в рамках отечественной научной школы геодезической гравиметрии в области изучения гравитационного поля и математического описания его характеристик.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Компетенции, индикаторы и результаты обучения

ПК-1 Способен проводить прикладные исследования, обрабатывать и анализировать результаты

ПК-1.1 Выполняет эксперимент и оформляет результаты исследований и разработок

Знать:

ПК-1.1/Зн2 Основные свойства и методы изучения гравитационного поля и его изменения во времени и пространстве

Уметь:

ПК-1.1/Ум2 Выполнять измерения силы тяжести, производить гравиметрическую съемку, интерпретировать результаты

Владеть:

ПК-1.1/Нв2 Методами выполнения и обработки гравиметрических измерений, вычисления гравиметрических аномалий, построения гравиметрических карт

ПК-1.2 Обрабатывает и анализирует научно-техническую информацию и результаты исследований

Знать:

ПК-1.2/Зн3 Нормативно-технические и руководящие документы в области создания, поддержания и развития государственной координатной основы

Уметь:

ПК-1.2/Ум2 Применять современные программные средства обработки и уравнивания геодезических полевых и орбитальных измерений

Владеть:

ПК-1.2/Нв2 Навыками обработки, анализа результатов исследований с использованием научно-технической информацией по соответствующей области знаний

ПК-1.3 Готовит элементы документации, проектов, планов и программ проведения отдельных этапов работ

Знать:

ПК-1.3/Зн1 Содержание инструкций и нормативных документов, относящихся к построению государственной гравиметрической сети и касающихся проведения гравиметрических работ

ПК-1.3/Зн2 Нормативно-правовую базу в области геодезических работ

Уметь:

ПК-1.3/Ум2 Разрабатывать и оформлять технический проекты и программы геодезических работ

Владеть:

ПК-1.3/Нв1 Средствами подготовки планирования и составления отчетной документации для проведения гравиметрических работ

ПК-1.3/Нв2 Специализированным программным обеспечением для математической обработки результатов высокоточных измерений и их оформлением для проектной документации

ПК-12 Способен выполнять технологические операции по подготовке предложений для принятия решения, в том числе на основе результатов космической деятельности

ПК-12.1 Формирует и направляет запросы на предоставление данных (информации), получаемых на основе использования результатов космической деятельности, в информационно-аналитические и мониторинговые системы различных уровней

Знать:

ПК-12.1/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем Земли и планет, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени

Уметь:

ПК-12.1/Ум1 Вычислять элементы гравитационного поля по результатам запросов данных, полученных в результате космической деятельности, интерпретировать результаты.

Владеть:

ПК-12.1/Нв1 Принятой терминологией в области изучения характеристик физических полей, способами представления информации о них.

ПК-12.2 Выполняет сбор, первичную обработку, систематизацию, каталогизацию и визуализацию данных (информации), полученных на основе использования результатов космической деятельности и результатов их обработки

Знать:

ПК-12.2/Зн1 Структуру, содержание и источники данных глобальных и локальных моделей гравитационного поля. Области применимости таких моделей для решения практических задач

Уметь:

ПК-12.2/Ум1 Вычислять и визуализировать информацию об элементах гравитационного поля по результатам запросов данных, интерпретировать результаты.

Владеть:

ПК-12.2/Нв1 Математическим аппаратом представления исходных данных и вычисления специальных функций, способами использования результатов в инженерно-геодезических работах

ПК-12.3 Выполняет комплексный анализ данных (информации), полученных на основе использования результатов космической деятельности

Знать:

ПК-12.3/Зн1 Физический смысл характеристик, связанных с гравитационным полем Земли и планет, способы определения и уточнения элементов гравитационного поля, а также их изменений во времени

Уметь:

ПК-12.3/Ум1 Вычислять элементы гравитационного поля, интерпретировать результаты сравнения вычисленных и измеренных значений

Владеть:

ПК-12.3/Нв1 Средствами анализа данных в области изучения элементов гравитационного поля и их непосредственной связи с геодезическими данными

ПК-12.4 Формирует набор возможных вариантов решения на основе использования результатов космической деятельности

Знать:

ПК-12.4/Зн1 Знать способы представления гравитационного потенциала Земли

Уметь:

ПК-12.4/Ум1 Уметь представлять гравитационный потенциал в виде точечных масс

Владеть:

ПК-12.4/Нв1 Владеть методикой разложения гравитационного потенциала в ряд по сферическим функциям

3. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина (модуль) Б1.В.03.02 «Геодезическая гравиметрия» относится к формируемой участниками образовательных отношений части образовательной программы и изучается в семестре(ах): 6, 7.

В процессе изучения дисциплины студент готовится к решению типов задач профессиональной деятельности, предусмотренных ФГОС ВО и образовательной программой.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Период обучения	Общая трудоемкость (часы)	Общая трудоемкость (ЗЕТ)	Лабораторные занятия (часы)	Лекционные занятия (часы)	Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация (часы)
6 семестр	72	2	28	28	16	Зачет
7 семестр	144	4	30	30	48	Экзамен (36)
Всего	216	6	58	58	64	36

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Разделы, темы дисциплины и виды занятий
(часы промежуточной аттестации не указываются)

Наименование раздела, темы	Всего	Лабораторные занятия	Лекционные занятия	Самостоятельная работа	Планируемые результаты обучения, соотношенные с результатами освоения программы
Раздел 1. Введение	12	4	4	4	ПК-1.2
Тема 1.1. Сведения из сфероидической геодезии и геодезической астрономии	6	2	2	2	ПК-12.1 ПК-12.2 ПК-12.4
Тема 1.2. Сила тяжести, её величина и характер изменения	6	2	2	2	
Раздел 2. Основной	168	54	54	60	ПК-1.1 ПК-1.3 ПК-12.3 ПК-12.4
Тема 2.1. Потенциал и его свойства	8	2	4	2	
Тема 2.2. Притяжение простых тел	10	4	4	2	
Тема 2.3. Гармонические функции	8	2	4	2	
Тема 2.4. Измерение силы тяжести	8	2	4	2	
Тема 2.5. Теория статического гравиметра. Измерения статическим гравиметром	16	10	4	2	
Тема 2.6. Аномалии силы тяжести и гравиметрические карты	10	4	4	2	
Тема 2.7. Нормальное поле	14	4	4	6	
Тема 2.8. Аномальный потенциал и элементы аномального поля	14	4	4	6	
Тема 2.9. Сферические и шаровые функции, модели гравитационного поля Земли	24	8	8	8	
Тема 2.10. Высоты и системы высот	18	4	4	10	
Тема 2.11. Нахождение аномального потенциала	22	6	6	10	
Тема 2.12. Учет неоднородности гравитационного поля при решении инженерных задач	16	4	4	8	
Итого	180	58	58	64	

5.2. Содержание разделов, тем дисциплин и формы текущего контроля

Раздел 1. Введение

Тема 1.1. Сведения из сфероидической геодезии и геодезической астрономии

Геодезическая система координат. Соотношения параметров эллипсоида. Астрономические координаты и отклонения отвеса. Другие системы координат.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций

Тема 1.2. Сила тяжести, её величина и характер изменения

Закон Всемирного тяготения. Сила тяготения и центробежная сила. Сила тяжести, её единицы измерения. Изменение величины силы тяжести Земле. Вертикальный и горизонтальный градиенты. Влияние Луны и Солнца в начальном приближении.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Раздел 2. Основной

Тема 2.1. Потенциал и его свойства

Определение потенциальной функции. Градиент. Производная по направлению. Уровенная поверхность и силовая линия. Понятие геоида. Потенциал и форма уровенной поверхности поля силы тяжести однородного вращающегося шара.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Наличие конспекта лекций

Тема 2.2. Притяжение простых тел

Потенциал и сила притяжения точечной массы. Принцип суперпозиции. Гравитационное поле объёмных масс. Притяжение однородной сферы и шара. Свойства потенциала и его производных внутри и вне масс. Притяжение тонкого диска, цилиндра, плоскопараллельного слоя, конуса.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 2.3. Гармонические функции

Уравнение Лапласа и регулярность на бесконечности. Свойства гармонических функций. Формулы Грина. Уравнение Пуассона. Понятие о краевых задачах в геодезии. Гармонические и негармонические потенциалы.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 2.4. Измерение силы тяжести

Методы измерения силы тяжести, их классификация. Исторические сведения о развитии гравиметрии. Абсолютный и относительный методы, их современная точность. Источники ошибок и поправки баллистического метода. Измерение вторых производных.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 2.5. Теория статического гравиметра. Измерения статическим гравиметром

Чувствительность упругих систем. Кварцевые астазированные гравиметры. Источники ошибок. Исследования и поверки гравиметров. Гравиметрический рейс и его обработка.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 2.6. Аномалии силы тяжести и гравиметрические карты

Виды аномалий силы тяжести. Редукция Буге. Поправка за рельеф. Назначение и виды гравиметрических карт. Ошибка интерполяции. Дисперсия и ковариационная функция аномалий. Косвенная интерполяция аномалий в свободном воздухе.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 2.7. Нормальное поле

Нормальный потенциал. Способы выбора нормального поля. Нормальная Земля и фундаментальные геодезические постоянные. Геометрия нормального поля.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 2.8. Аномальный потенциал и элементы аномального поля

Аномальный потенциал и элементы аномального поля: аномалия высоты, аномалия силы тяжести, гравиметрическое отклонение отвеса, их величины. Связи между ними. Простейшая модель аномального поля подземной точечной массы.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля
Практическая работа

Тема 2.9. Сферические и шаровые функции, модели гравитационного поля Земли

Ортогональность функций и разложение по базисным функциям. Полиномы и присоединённые функции Лежандра. Элементарные сферические функции. Разложение геопотенциала тела в ряд по шаровым функциям. Стоксовы постоянные первых степеней и их физический смысл. Модели гравитационного поля.

Тема 2.10. Высоты и системы высот

Высоты - геометрические и в поле силы тяжести. Геопотенциальные величины. Динамические, ортометрические, нормальные и нормально-ортометрические высоты. Теоретическая невязка замкнутого нивелирного хода и поправки в нивелирные превышения. Чистые и смешанные аномалии силы тяжести.

Тема 2.11. Нахождение аномального потенциала

Задача Стокса и задача Молоденского. Краевое условие для смешанных и чистых аномалий. Краевое условие в сферическом приближении. Общий вид решения и нахождение элементов аномального поля. Преобразование формул для интегрирования на плоскости. Местные гравиметрические аномалии высоты и отклонения отвеса. Связь местных значений с полными величинами. Спутниковое нивелирование.

Тема 2.12. Учет неоднородности гравитационного поля при решении инженерных задач

Вычисление аномальной кривизны силовой линии и уровенной поверхности.

Текущий контроль

Вид (форма) контроля

Практическая работа

6. Порядок проведения промежуточной аттестации

Порядок проведения промежуточной аттестации регламентируется локальными нормативными актами Университета:

- Положением о формах, периодичности, порядке текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по основным образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.6 «Организация и проведение промежуточной аттестации».
- Положением о порядке осуществления образовательного процесса, проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии», п.8 «Проведение промежуточной аттестации с применением ЭО и ДОТ».

Промежуточная аттестация: Зачет, 6 семестр.

Промежуточная аттестация: Экзамен, 7 семестр.

7. Оценочные материалы текущего контроля

Раздел 1. Введение

Контролируемые ИДК: ПК-1.2 ПК-12.1 ПК-12.2 ПК-12.4

Тема 1.1. Сведения из сфероидической геодезии и геодезической астрономии

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Тема 1.2. Сила тяжести, её величина и характер изменения

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Найти среднюю плотность Земли (в виде шара). Результат выразить в кг/м³ и в г/см³
2. Найти значение центробежной силы на экваторе для шарообразной Земли. Результат выразить в Галах.
3. Рассчитать притяжение Луны для подлунной точки (единичной массы) на поверхности шарообразной Земли. Результат выразить в миллигалах.
4. Парашютист прыгает с высоты 700 метров. На сколько увеличилась его сила тяжести в точке приземления? Результат выразить в миллигалах.

Раздел 2. Основной

Контролируемые ИДК: ПК-1.1 ПК-1.3 ПК-12.3 ПК-12.4

Тема 2.1. Потенциал и его свойства

Форма контроля/оценочное средство: Наличие конспекта лекций

Тема 2.2. Притяжение простых тел

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Рассчитать аномальное притяжение залежи известняка сферической формы. Результат выразить в миллигалах. Аномальная масса сферической формы залегает на глубине $a = 100 + N$ метров, где a – расстояние до центра сферы. Радиус сферы $r = 0.9a$. Плотность известняка $\delta = 2.8$ г/см³. Плотность окружающих пород (песок) $\delta_0 = 2.0$ г/см³
2. Найти притяжение частей внутреннего строения Земли по отдельности для точки, находящейся на поверхности Земли
3. Построить график изменения силы тяжести от широты $g(\phi)$ в Галах.
4. На какую высоту над землёй надо подняться на широте МИИГАиК (55.6 °), чтобы сила тяжести стала равной значению силы тяжести на экваторе? Использовать 2 формулу Клеро и значение вертикального градиента.

Тема 2.3. Гармонические функции

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Разложить данную функцию $f(x)$ на интервале $[-1, 1]$ в ряд полиномов Лежандра до 3 степени включительно. Построить график на интервале $[-1.1, 1.1]$ исходной функции и ее аппроксимации $f^*(x)$. Графики расположить на одной координатной плоскости.

$$f^*(x) = a_0 + a_1 P_1 + a_2 P_2 + a_3 P_3$$

Тема 2.4. Измерение силы тяжести

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Оценить разность силы тяжести между МИИГАиК (на уровне земли) и верхней точкой башни Останкинского телецентра. Высота башни 540 м, она расположена в 6.1 км севернее МИИГАиК. Изменением высоты рельефа пренебречь. Результат выразить в миллигалах.

Примечание. Для горизонтального градиента использовать широту МИИГАиК из Задания 7.

2. Построить график силы притяжения для модели Земли PREM500 (см. ссылку), начиная от центра Земли и до высоты $H = 21000$ км над поверхностью Земли. Плотность атмосферы брать за 0. В этой модели Земля состоит из множества однородных сферических слоёв

Тема 2.5. Теория статического гравиметра. Измерения статическим гравиметром

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Тема 2.6. Аномалии силы тяжести и гравиметрические карты

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Вычислить аномалии, оценку точности гравиметрической карты

Тема 2.7. Нормальное поле

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Вычислить для систем фундаментальных постоянных Нормальной Земли следующие параметры. Заполнить таблицу и проставить (где нужно) обозначение и единицы измерения.

Таблица 2

Обозначение	Единицы	
		малая полуось
		первый эксцентриситет
		линейный эксцентриситет
		нормальный потенциал на поверхности эллипсоида
q_0		постоянная
m		постоянная
		второй зональный динамический коэффициент
	мГал	нормальная сила тяжести на полюсе
	мГал	нормальная сила тяжести на полюсе
		гравиметрическое сжатие
		нормальная сила тяжести на широте МИИГАиК ($B = 55.764$)
	мГал/м	нормальный вертикальный градиент на широте МИИГАиК ($B = 55.764$)

Тема 2.8. Аномальный потенциал и элементы аномального поля

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Построить графики элементов аномального поля при движении вдоль оси X в диапазоне от $-3a$ до $+3a$ с шагом 1 м на уровне земли ($Z=0$).

Тема 2.12. Учет неоднородности гравитационного поля при решении инженерных задач

Форма контроля/оценочное средство: Практическая работа

Вопросы/Задания:

1. Вычисление приливной поправки (твёрдый прилив) на заданном интервале для пункта: МИИГАиК, ауд 92.

8. Оценочные материалы промежуточной аттестации

6 семестр, Зачет

Контролируемые ИДК: ПК-1.1 ПК-12.1 ПК-1.2 ПК-12.2 ПК-1.3 ПК-12.3 ПК-12.4

Вопросы/Задания:

1. В чем заключается метод косвенной интерполяции аномалий в свободном воздухе?
 1. По карте аномалий в свободном воздухе находят аномалию Буге
 2. По карте аномалий Буге и высоте пункта находят аномалию в свободном воздухе
 3. По карте аномалий Буге находят плотность земной коры и высоту пункта
2. В чем различие между статическими и динамическими методами измерения силы тяжести?
 1. Статический метод может быть как абсолютным, так и относительным, а динамический – только относительным, при этом динамический относительный метод – самый точный
 2. Динамический метод может быть как абсолютным, так и относительным, но статический – только относительным, при этом он точнее, чем динамический
 3. Оба метода равноценны по возможностям, но статический метод многократно уступает по точности динамическому
3. Выберите верные утверждения:
 1. Сумма нивелирных превышений по замкнутому контуру не равна нулю в общем случае
 2. Сумма приращений нормальных высот по замкнутому контуру всегда равна нулю
 3. Сумма приращений геопотенциального числа по замкнутому контуру всегда равна нулю
 4. Сумма гравиметрических поправок по замкнутому контуру равна нулю
 5. Ни одно из утверждений не верно
4. Выберите верные утверждения:
 1. Уровенная поверхность это поверхность равного потенциала силы тяжести, и это есть поверхность любого спокойного водоёма
 2. Уровенная поверхность это поверхность морей и океанов, её можно увидеть только с берега или в открытом море
 3. Уровенная поверхность это воображаемая поверхность, перпендикулярная силовым линиям, поэтому её увидеть нельзя
 4. Уровенной поверхностью является поверхность жидкости в ванне, сосуде или емкости.
5. Вычислить нормальную высоту пункта по его геопотенциальному числу C и широте методом итераций.
Результат представить в целых метрах.
 1. 160
 2. 622
 3. 720

Вычислить нормальную высоту пункта по его геопотенциальному числу $C = W_0 - W$ и широте методом итераций.

$$H^y = \frac{1}{\gamma_m} C$$

Результат представить в метрах с точностью до целых.

Нормальную силу тяжести вычислять по формуле

Гельмерта:

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B)$$
$$\gamma_m = \gamma_0 - 0.3086 \frac{H^y}{2} = \gamma_0 - 0.1543 H^y$$

Постоянные коэффициенты формулы Гельмерта:

$$\gamma_e = 978030 \text{ мГал}$$

$$\beta = 0.005302$$

$$\beta_1 = 0.000007$$

$$C = W_0 - W = 6095.306 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

Широта пункта В = $35^\circ 55'$

Итерации	
0	$H^{(0)} = \frac{1}{\gamma_0} C$
1	$H^{(1)} = \frac{1}{\gamma_0 - 0.1543 H^{(0)}} C$
2	$H^{(2)} = \frac{1}{\gamma_0 - 0.1543 H^{(1)}} C$
3	...

6. Вычислить притяжение марсианского вулкана Олимпус Монс в точке на его вершине, считая его конусом высотой $H = 21.9$ км и диаметром подошвы $a = 600$ км. Ответ записать в галах с точностью до целых единиц.

плотность 2.9 г/см^3 (базальт)

$G = 6.6743 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная

$$F = 2\pi G \delta H \left(1 - \frac{H}{\sqrt{H^2 + a^2}}\right)$$

7. Вычислить притяжение планеты Сатурн на полюсе (без учета колец). Найти, во сколько раз оно больше средней силы земного притяжения (980 Гал).

Ответ дать в виде целой части отношения

$(F_{\text{Сат}} / F_{\text{Зем}})$.

Радиус планеты Сатурн $R = 58232$ км

Средняя плотность Сатурна $\delta = 0.687 \text{ г/см}^3$

8. Вычислить притяжение плоскопараллельного слоя топографических масс (пластины Буге) для пункта с высотой $H = 201$ м.

Результат представить в миллигалах с точностью до целых единиц.

1. 19

2. 10

3. 2

Средняя плотность пород $\delta = 2.30 \text{ г/см}^3$.

$G = 6.6743 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная

$$F_B = 2\pi G \delta H$$

9. Вычислить силу земного притяжения на расстоянии $h = 2000$ км от поверхности Земли. Землю считать шаром радиусом $R = 6370$ км.

Результат представить в единицах Гал (до целых единиц).

1. 6

2. 56

3. 569

Геоцентрическая гравитационная постоянная

$$GM = 398600.44 \text{ км}^3/\text{с}^2$$

10. Вычислить среднюю плотность планеты по её радиусу R и планетоцентрической гравитационной постоянной.

Результат представить в целых кг/куб. м.

$\bar{G} = 6.6743 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ – гравитационная постоянная

$$GM_{\pi} = 3.986004 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$$

$$R = 6.371 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$M_n = GM_n/G, \quad V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$\delta = M_n/V$$

Округлить до целых кг/м³.

11. Геопотенциальное число это:

1. Высота пункта в нормальном поле
2. Разность потенциалов между квазигеоидом и отсчётным эллипсоидом
3. Разность потенциалов между началом счета высот и пунктом на поверхности Земли
4. Разность потенциалов между началом счета высот и геоидом
5. Разность потенциалов между началом счета высот и квазигеоидом
6. Разность потенциалов между отсчётным эллипсоидом и пунктом на поверхности Земли

12. Гравиметрические поправки (Еремеева) вводятся в

1. значения нормальных высот
2. спутниковые значения высот
3. аномалии силы тяжести
4. нивелирные превышения
5. геопотенциальное число
6. высоты точек в нормальном поле

13. Дано измеренное значение силы тяжести на пункте, его широта и высота. Вычислить аномалию Буге. Результат представить с точностью до целых мГал.

Плотность пород промежуточного слоя $\delta = 2.30$ г/см³

Использовать нормальную формулу Гельмерта

$$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B)$$

Коэффициенты нормальной формулы:

$$\gamma_e = 978030 \text{ мГал}$$

$$\beta = 0.005302$$

$$\beta_1 = 0.000007$$

$$\text{Вертикальный градиент } \frac{d\gamma}{dH} = -0.3086 \text{ мГал/м}$$

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{d\gamma}{dH} H$$

$$\Delta g_B = g - \gamma - 2\pi G \delta H$$

Притяжение промежуточного слоя считать как:

$$2\pi G \delta H = 0.0419 \cdot \delta \cdot H \text{ мГал,}$$

где H – в метрах, δ – в г/см³

g, мГал	Широта B	Высота H, м
979673.95	35.781500	429

14. Даны:

измеренное нивелирное превышение Δh вдоль секции АВ нивелирного хода II класса

приближенные высоты пунктов А и В

значения аномалии силы тяжести на концах секции

значения нормальной силы тяжести на отсчётном эллипсоиде для точек А и В

Найти гравиметрические поправки за переход к Балтийской системе нормальных высот (поправки Еремеева) и их сумму f.

Ответ записать в целых миллиметрах.

1. 4
2. 77
3. -21

- измеренное нивелирное превышение Δh вдоль секции АВ нивелирного хода II класса
- приближенные высоты пунктов А и В

- приближенные высоты пунктов А и В
- значения аномалии силы тяжести на концах секции
- значения нормальной силы тяжести на отсчетном эллипсоиде γ_0 для точек А и В
- принять $\gamma_m = 980000$ мГал

	А	В
Высота Н, м	250	402
$g - \gamma$, мГал	42	50
γ_0 , мГал	980570.7	980579.7
Δh , м	152.140	

$$\gamma_m = 980000 \text{ мГал}$$

$$f = \frac{(g - \gamma)_{\text{ср}}}{\gamma_m} \Delta h - \frac{(\gamma_{0B} - \gamma_{0A})}{\gamma_m} H_{\text{ср}}$$

15. Для пунктов А и В, расположенных на средней широте 55° найти приближенно приращение силы тяжести, если пункт В находится на 7.5 км севернее и на 30 м выше, чем пункт А.

Ответ записать в целых миллигалах.

Для пунктов А и В, расположенных на средней широте 55° найти приближенно приращение силы тяжести $\Delta g = g_B - g_A$, если пункт В находится на 7.5 км севернее и на 30 м выше, чем пункт А. Притяжением топографических масс пренебречь.

Ответ записать в целых миллигалах.

Горизонтальный градиент $0.81 \sin 2B$ мГал/км

Вертикальный градиент -0.31 мГал/м

16. Дрейф в статическом гравиметре

1. присутствует всегда
2. появляется при изменении силы тяжести
3. появляется при изменении атмосферного давления или температуры
4. появляется при наклоне прибора
5. свидетельствует о неисправности прибора

17. Какой метод (абсолютный или относительный) позволяет определять полное значение силы тяжести?

Ответ одним словом - прилагательным мужского рода

18. По известным значениям аномалии в свободном воздухе и аномалии Буге для гравиметрического пункта найти плотность δ промежуточного слоя земной коры (в г/куб. см), которая использовалась при вычислении аномалии Буге.

Ответ записать в целых г/куб. см

1. 2
2. 5
3. 12

Аномалия в свободном воздухе: $g - \gamma = 37.9$ мГал

Аномалия Буге: $\Delta g_B = -20.1$ мГал

Высота пункта Н = 601 м

$$\Delta g_B = g - \gamma - 2\pi G \delta H$$

Указание: Притяжение слоя считать как:

$$2\pi G \delta H = 0.0419 \delta H \text{ мГал}$$

Результат округлить до целых г/см³

19. По координатам гравиметрического пункта и измеренному значению силы тяжести вычислить значение аномалии в свободном воздухе $g-\gamma$.

Результат представить с точностью до целых мГал.

Для вычисления нормальной силы тяжести использовать параметры нормального поля ГСК-2011. Нормальный вертикальный градиент принять $-0,3086$ мГал/м.

1. 22
2. -28
3. 79

$$b = a(1 - \alpha)$$
$$\gamma_0 = \frac{\gamma_e a \cos^2 B + \gamma_p b \sin^2 B}{\sqrt{a^2 \cos^2 B + b^2 \sin^2 B}}$$
$$\gamma = \gamma_0 - 0,3086 H$$

Параметры системы ГСК-2011:

$$a = 6378136.5 \text{ м}$$
$$\alpha = 1/298.2564151$$
$$\gamma_e = 978032.696 \text{ мГал}$$
$$\gamma_p = 983218.646 \text{ мГал}$$

Координаты пункта и значение g :

$$B = 55^\circ 50' 30'', H = 164.25 \text{ м}, g = 981550.24 \text{ мГал}$$

20. Сколько сферических гармоник (элементарных сферических функций) содержит сферическая функция степени $n = 3$?

21. Точность современных полевых статических гравиметров составляет

1. десятки мГал
2. единицы мГал
3. десятые мГал
4. единицы и десятки мкГал
5. десятые мкГал
6. сотые мкГал

22. Сколькими параметрами задаётся Земной эллипсоид вращения?

- A) Двумя: большая полуось и сжатие
- B) Тремя: большая полуось, малая полуось и сжатие
- C) Четырьмя: большая полуось, малая полуось, сжатие и эксцентриситет
- D) Ни один вариант не верен

23. Какое число ближе всего описывает сжатие Земного эллипсоида?

- A) 1:50
- B) 1:300
- C) 1:5000
- D) 1:15000

24. Как называется угол между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора?

- A) Геодезическая высота
- B) Нормальная высота
- C) Геодезическая широта
- D) Ни один вариант не верен

25. Величина e^2 (квадрат первого эксцентриситета) больше, меньше или равна сжатию земного эллипсоида?

- A) Больше

- В) Меньше
- С) Равна

26. Что такое геодезическая высота?

- А) Расстояние по нормали между точкой и плоскостью экватора
- В) Расстояние по нормали между точкой и поверхностью эллипсоида
- С) Расстояние по нормали между точкой и поверхностью геоида
- Д) Расстояние по нормали между точкой и поверхностью земли

27. Где проходит плоскость первого вертикала?

- А) Параллельно плоскости меридиана
- В) Вдоль нормали к эллипсоиду, перпендикулярно плоскости меридиана
- С) Параллельно касательной плоскости к поверхности эллипсоида, перпендикулярно плоскости меридиана
- Д) Ни один вариант не верен

28. Где проходит ось X геоцентрической системы координат?

- А) Перпендикулярно плоскости нулевого меридиана
- В) Под углом 90 градусов к плоскости экватора
- С) Вдоль пересечения нулевого меридиана с плоскостью экватора
- Д) Вдоль оси вращения Земли

29. Какой город России расположен ближе всего к меридиану, содержащему ось Y?

- А) Казань
- В) Екатеринбург
- С) Новосибирск
- Д) Красноярск
- Е) Хабаровск

30. Что такое астрономическая широта?

- А) Угол между отвесной линией и начальным меридианом
- В) Угол между отвесной линией и нормалью к эллипсоиду
- С) Угол между отвесной линией и плоскостью экватора
- Д) Угол между отвесной линией и осью вращения Земли

31. Куда направлена сила тяжести?

- А) В центр масс Земли
- В) Перпендикулярно плоскости экватора
- С) Перпендикулярно касательной плоскости к поверхности эллипсоида
- Д) Вдоль отвесной линии

32. Что такое плоскость астрономического меридиана?

- А) Плоскость, параллельная оси вращения Земли и содержащая отвесную линию
- В) Плоскость, параллельная отвесной линии и содержащая ось вращения Земли
- С) Плоскость, содержащая нормаль к эллипсоиду и ось вращения Земли
- Д) Плоскость первого вертикала

33. Что такое астрономо-геодезическое уклонение отвеса?

- А) Угол между отвесной линией и осью вращения Земли
- В) Угол между отвесной линией и направлением нормали к эллипсоиду
- С) Угол между отвесной линией и плоскостью экватора
- Д) Угол между отвесной линией и плоскостью начального меридиана

34. Где на Земле центробежная сила равна нулю?

- А) На полюсах
- В) На экваторе
- С) Нигде

35. Найдите силу тяжести $g = F$ на поверхности невращающегося Земного шара радиусом $R = 6371,2$ км, ответ выразите в м/с². Выберите наиболее близкое число:

- А) 0.0098206
- В) 0.14460

- C) 9.82
- D) 981.3

36. Найдите среднюю плотность Земли δ (кг/м³) Выберите наиболее близкое число:

- A) 840
- B) 2400
- C) 5500
- D) 11000

37. По угловой скорости вращения $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5}$ [с⁻¹] для сферической Земли радиусом $R = 6371,2$ км вычислите значение центробежной силы на экваторе (в Галах). Выберите наиболее близкое число:

- A) 0.003
- B) 3.4
- C) 55.8
- D) 128.3

38. Какую долю в процентах составляет изменение силы тяжести между полюсом и экватором от полной величины g ? Выберите наиболее близкое значение:

- A) 5%
- B) 7%
- C) 0.7%
- D) 15%

39. Рассчитайте, на какую высоту надо подняться, чтобы сила тяжести изменилась на 6.5 Гал? Выберите наиболее близкое значение:

- A) 5 м
- B) 200 м
- C) 1500 м
- D) 21 км

40. Как называется астрономическое явление, когда Солнце и Луна находятся по одну сторону от земного наблюдателя, на одной прямой с ним?

- A) Равноденствие
- B) Лунное затмение
- C) Верхнее солнцестояние
- D) Полнолуние
- E) Солнечное затмение

41. Какое небесное тело вызывает больший приливный эффект:

- A) Солнце
- B) Луна
- C) Солнце и Луна в равной степени

42. На какую высоту нужно подняться, чтобы видимое уменьшение силы тяжести было равно суммарному действию Луны и Солнца?

- A) 0.52 м
- B) 5.2 м
- C) 52 м
- D) 520 м

43. Сфероид это:

- A) Фигура, близкая к эллипсоиду вращения
- B) Фигура, близкая к сфере
- C) Фигура, близкая к геоиду
- D) Ни одно из утверждений не верно

44. Потенциал это:

- A) Числовая константа
- B) Скалярная функция
- C) Векторная функция
- D) Ничего из перечисленного не верно

45. Производная потенциала по произвольному направлению равна

- A) Нулю
- B) Косинусу угла направления
- C) Вектору силы
- D) Проекции вектора силы на направление

7 семестр, Экзамен

Контролируемые ИДК: ПК-1.1 ПК-12.1 ПК-1.2 ПК-12.2 ПК-1.3 ПК-12.3 ПК-12.4

Вопросы/Задания:

1. Развитие представлений о фигуре Земли: шар, эллипсоид, геоид. Физическая поверхность Земли. Системы координат.

2. История градусных измерений

3. Сила тяжести и её потенциал. Распределение силы тяжести на Земле. Свойства потенциала силы тяжести и область его существования. Уровенная поверхность

4. Закон изменения силы тяжести на поверхности однородного земного шара. Вертикальный и горизонтальный градиенты силы тяжести

5. Горизонтальный и вертикальный градиенты силы тяжести. Вторые производные и их единицы измерения- этвеш.

6. Расстояние между уровенными поверхностями потенциала силы тяжести. Силовая линия, отвесная линия

7. Сила тяготения (притяжения) и её потенциал. Потенциал материальной точки, физический смысл потенциала. Свойства потенциала тяготения

8. Потенциал тяготения объемных масс и его свойства

9. Притяжение однородного диска и цилиндра. Притяжение бесконечного плоского и плоскопараллельного слоя. Однородное поле

10. Потенциал и сила притяжения однородной сферы и однородного шара внутри и снаружи. Свойство непрерывности потенциала и силы. Вторая производная потенциала однородного шара.

11. Абсолютные измерения силы тяжести баллистическим методом. Атомные гравиметры. Схема баллистического гравиметра. Источники ошибок и поправки метода

12. Схема чувствительной системы статического гравиметра. Астазирование. Преимущества и недостатки гравиметров. Устройство статического гравиметра. Источники ошибок

13. Эталонирование гравиметра на базисе и методом наклона. Юстировка уровней гравиметра.

14. Гравиметрический рейс и его обработка.

15. Вторые производные потенциала силы тяжести, их физический смысл и способы измерения. Кривизна силовой линии и кривизна уровенной поверхности, их связь со вторыми производными потенциала

16. Точность гравиметрических карт. Прямая и косвенная интерполяция аномалий в свободном воздухе.

17. Гармонические функции и их свойства. Свойства потенциала тяготения. Уравнения Лапласа и Пуассона.

18. Гармонические функции и их свойства. Свойства потенциала тяготения. Уравнения Лапласа и Пуассона.

19. Нормальное поле и фундаментальные геодезические постоянные. Связь геометрических и физических параметров.

20. Геометрия нормального поля. Кривизна силовой линии и уровенной поверхности нормального поля

21. Свойства аномального потенциала. Связь элементов аномального поля с аномальным потенциалом.

22. Связь аномалии силы тяжести, отклонения отвеса и аномалии высоты с аномальным потенциалом. Формула Брунса (полная).

23. Свойства аномального потенциала. Понятие краевой задачи и краевого условия. Виды краевых задач.

24. Полиномы Лежандра и их свойства. Ортогональность полиномов Лежандра. Квадрат нормы. Разложение произвольной функции по базисным полиномам P_n .

25. Ряд Лапласа. Сферические функции. Классификация сферических гармоник

26. Разложение потенциала тяготения в ряд по шаровым функциям. Стоксовы постоянные

27. Модели гравитационного поля Земли. Классификация. Степень, разрешение и источники данных.

28. Аномальный потенциал в Стоксовом (сферическом) приближении. Ряд Стокса. Формулы Стокса и Венинг-Мейниса

29. Системы высот. Ортометрическая высота. Нормальная высота. Теллурид. Квазигеоид

30. Сумма превышений замкнутого нивелирного полигона. Гравиметрические поправки в нивелирные превышения. Разность нормальных высот на берегах водоёма

31. Гравиметрическая (полная и местная) и астрономо-геодезическая аномалия высоты. Спутниковое нивелирование

32. Гравиметрическое и астрономо-геодезическое уклонение отвеса и его составляющие

33. Модели гравитационного поля Земли. Степень и разрешение. Источники данных. Заголовок и содержание файла gfc

9. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение дисциплины

9.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Юзефович А.П. Поле силы тяжести и его изучение: учебное пособие. / А.П. Юзефович. - МИИГАиК, 2014. - 194 - 978-5-91188-051-4. - Текст: непосредственный.

2. Огородова Л.В. Нормальное поле и определение аномального потенциала (текст лекций по геодезической гравиметрии и теории фигуры Земли): Учебное пособие. / Л.В. Огородова. - МИИГАиК, 2010. - 105 - 978-5-97788-025-5. - Текст: непосредственный.

3. Огородова Л.В. Основы теории потенциала. Гравитационное поле Земли, Луны и планет: учебное пособие. / Л.В. Огородова. - МИИГАиК, 2013. - 108 - 978-5-91188-049-1. - Текст: непосредственный.

Дополнительная литература

1. Гофман-Велленгоф Б. Физическая геодезия: Пер. с англ. / Под ред. Ю.М. Неймана. / Б. Гофман-Велленгоф, Г. Мориц; Б. Гофман-Велленгоф, Г. Мориц ;. - МИИГАиК, 2007. - 426 - 978-5-91188-007-1. - Текст: непосредственный.

9.2. Профессиональные базы данных и ресурсы «Интернет», к которым обеспечивается доступ обучающихся

Профессиональные базы данных

Не используются.

Ресурсы «Интернет»

1. <https://icgem.gfz-potsdam.de/vis3d/tutorial> - Визуализация сферических гармоник

2. <https://rgs-centre.ru/fags-coords> - Официальный сайт Росреестра на котором размещена информация по пунктам ФАГС

3. https://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime - Модели гравитационного поля в формате gfc

9.3. Программное обеспечение и информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень программного обеспечения

(обновление производится по мере появления новых версий программы)

Не используется.

Перечень информационно-справочных систем

(обновление выполняется еженедельно)

Не используется.

9.4. Оборудование и технические средства обучения

Смешанный тип

Интерактивная панель - 1 шт.

Меловая доска - 1 шт.

10. Методические указания по освоению дисциплины (модуля)

С целью успешного освоения данного предмета студенту необходимо выполнять домашние работы по указанным преподавателям темам и представленным на занятиях материалам. Для более успешного выполнения работы студенту предлагается использование учебно-методических материалов, соответствующих указанной теме.

Самостоятельная работа студентов описывается и регулируется:

- Методическими рекомендациями по дисциплине;
- Методическими рекомендациями по организации самостоятельной работы студентов МИИГАиК;

Описание возможностей изучения дисциплины лицами с ОВЗ и инвалидами

При необходимости обучения студентов-инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья аудиторные занятия могут быть заменены или дополнены изучением полнотекстовых лекций, презентаций, видео- и аудиоматериалов в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) университета. Индивидуальные задания подбираются в адаптированных к ограничениям здоровья формах (письменно или устно, в форме презентаций). Выбор методов обучения зависит от их доступности для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

Рабочая программа дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.