

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

 Е.А. Турилова

28 февраля 2025 г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

### Гравиметрия

Направление подготовки: 21.04.03 - Геодезия и дистанционное зондирование

Профиль подготовки: Дистанционное зондирование

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. Загидуллин А.А. (Кафедра астрономии и космической геодезии, Отделение астрофизики и космической геодезии), AgAZagidullin@kpfu.ru ; Кашеев Рафаэль Александрович

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1	Способен проводить фундаментальные и прикладные научные исследования в сфере профессиональной деятельности

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- методы и технологии моделирования гравитационного потенциала и применения моделей для решения геодезических задач.

Должен уметь:

- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования,

теоретического и экспериментального исследования;

Должен владеть:

- теоретическими знаниями по теории потенциала силы притяжения, в области постановки и путей решения прямой, обратной и краевых задач теории потенциала.

Должен демонстрировать способность и готовность:

- способность к изучению динамики изменения фигуры Земли по данным о структуре ее гравитационного поля.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.06 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 21.04.03 "Геодезия и дистанционное зондирование (Дистанционное зондирование)" и относится к части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 1 курсе в 2 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 27 часа(ов), в том числе лекции - 26 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 1 часа(ов).

Самостоятельная работа - 81 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен во 2 семестре.

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

##### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стоя-тельная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Силовое поле тяготения.	2	2	0	0	0	0	0	12
2.	Тема 2. Понятие потенциала силы притяжения.	2	2	0	0	0	0	0	12
3.	Тема 3. Прямая гравиметрическая задача.	2	2	0	4	0	0	0	18
4.	Тема 4. Краевые задачи теории потенциала.	2	4	0	4	0	0	0	12
5.	Тема 5. Разложение потенциала в ряд по сферическим функциям.	2	2	0	2	0	0	0	12
6.	Тема 6. Обратные задачи гравиметрии и пути их решения.	2	2	0	2	0	0	0	15
	Итого		14	0	12	0	0	0	81

##### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

###### Тема 1. Силовое поле тяготения.

Понятие физического поля. Скалярные и векторные поля. Поле сил. Закон всемирного тяготения. Сила притяжения. Поле силы притяжения материальной точечной массы, совокупности точечных масс, материального тела. Задача описания гравитационного поля материального гравитирующего объекта. Понятие пробной массы.

###### Тема 2. Понятие потенциала силы притяжения.

Понятие потенциала. Потенциалы силы притяжения материальной точечной массы и совокупности точечных масс. Гравитационный потенциал материального тела. Потенциалы объемных масс, простого слоя, двойного слоя. Уровенные поверхности, нормали, сечения, производные и градиент гравитационного потенциала.

###### Тема 3. Прямая гравиметрическая задача.

Простейшие случаи решения прямой задачи теории потенциала: однородный сферический простой слой, однородный шар, однородный плоский слой. Решение прямой задачи теории потенциала для однородного трехосного эллипсоида. Теорема Ньютона. Теорема Лапласа. Свойства потенциала объемных масс. Свойства потенциалов простого и двойного слоев.

###### Тема 4. Краевые задачи теории потенциала.

Краевые задачи теории потенциала и методы их решения. Функции Грина. Интеграл Пуассона. Сведение краевых задач к интегральным уравнениям. Интегральные уравнения первого и второго родов. Альтернативы и теоремы Фредгольма об интегральных уравнениях. Пути и методы поиска решений интегральных уравнений.

###### Тема 5. Разложение потенциала в ряд по сферическим функциям.

Решение уравнения Лапласа в сферической системе координат. Полиномы и присоединенные функции Лежандра. Шаровые и сферические функции. Классификация сферических функций. Разложение гравитационного потенциала в ряд объемных сферических функций. Интерпретация стоксовых постоянных. Проблема сходимости ряда для геопотенциала.

###### Тема 6. Обратные задачи гравиметрии и пути их решения.

Постановка обратной задачи теории потенциала (обратной гравиметрической задачи). Подходы к решению и методы решения обратных задач. Привлечение дополнительной априорной измерительной информации. Некорректный характер обратных задач. Методы регуляризации при решении некорректных задач теории гравитационного потенциала.

#### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

Введение в теорию гравитационного потенциала: (конспект лекций): [для студентов третьего курса физического факультета]. Кашеев Р. А. (Рафаэль Александрович). Казанский (Приволжский) федеральный университет: Институт физики, Кафедра астрономии и космической геодезии. Формат: еКнига. 2009. - [http://libweb.kpfu.ru/ebooks/06-IPh/06\\_46\\_2009\\_kl-000215.pdf](http://libweb.kpfu.ru/ebooks/06-IPh/06_46_2009_kl-000215.pdf)

#### **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

#### **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

International Association of Planetary Sciences (IAPS) - <http://www.ia-ps.org>

International Association of Geodesy - <http://www.iag-aig.org>

International Centre for Global Earth Models - <http://icgem.gfz-potsdam.de>

International Geoid Service (IGeS) - <http://www.iges.polimi.it>

Кашеев Р.А. Введение в теорию гравитационного потенциала. Конспект лекций для студентов третьего курса физического факультета. Казань, 2009, 46 с. - [http://kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=5776](http://kpfu.ru/main_page?p_sub=5776)

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Лекция представляет собой основную форму организации обучения в вузе, основанную на прямой коммуникации между преподавателем и студентом. В лекции систематизированным образом последовательно излагается содержание учебного материала, делается акцент на реализацию главных идей и направлений в изучении дисциплины, дается установка на последующую самостоятельную работу.
самостоятельная работа	Среди сложившихся форм и методов обучения в вузе ведущая роль принадлежит самостоятельной работе. Практика обучения подтверждает, что только знания, добытые самостоятельным трудом, делают выпускника продуктивно мыслящим специалистом, способным творчески решать профессиональные задачи. Усиление роли самостоятельной работы студентов означает принципиальный пересмотр организации учебно-воспитательного процесса в вузе, который должен строиться так, чтобы развивать умение учиться, формировать у студента способности к саморазвитию, творческому применению полученных знаний, способам адаптации к профессиональной деятельности в современных условиях. Рекомендуемая последовательность организации самостоятельной работы: Ознакомление с содержанием учебника, изучение конспекта лекций, изучение методических пособий, представленных на сайте кафедры астрономии и космической геодезии, ознакомление с рекомендованными материалами, публикациями и статьями в научных и
экзамен	При подготовке к экзамену следует использовать учебную литературу, рекомендованную преподавателем, лекционный материал. Одной из самых распространенных в настоящее время ошибок студентов - ответ не по вопросу. Поэтому при подготовке к экзамену следует внимательно вчитываться в формулировку вопроса и уточнить возникшие неясности во время предэкзаменационной консультации. Все возникающие сомнения и вопросы следует разрешать только с преподавателем, в этом случае вы можете получить гарантированно точный и правильный ответ.

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

## **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 21.04.03 "Геодезия и дистанционное зондирование" и магистерской программе "Дистанционное зондирование".



### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 21.04.03 - Геодезия и дистанционное зондирование

Профиль подготовки: Дистанционное зондирование

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

#### Основная литература:

Основная литература

1. Захаров, В. С. Физика Земли : учебник / В.С. Захаров, В.Б. Смирнов. - Москва : ИНФРА-М, 2021. - 328 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-010686-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1290480> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа: по подписке.
2. Турутанов, Е. Х. Физика Земли: глубинное строение, сила тяжести и способы её измерения : учебное пособие / Е. Х. Турутанов, Ю. А. Давыденко. - Иркутск : ИРНИТУ, 2018. - 200 с. - ISBN 978-5-8038-1307-1. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/216938> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Кашеев Р.А. Введение в теорию гравитационного потенциала небесных тел. Конспект лекций / Р.А. Кашеев; Казанский федеральный ун-т; Институт физики. - Казань: КФУ, 2015. - 90 с. - Текст: электронный. - URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F1381028693/Kashheev..R.A..Vvedenie.v.teoriyu.gravitacionnogo.potenciala.pdf> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа: открытый.

#### Дополнительная литература:

1. Кашеев Р.А. Фигура Земли: эллипсоидальное (нормальное) приближение: учебное пособие / Р.А. Кашеев; Казанский госуд. университет; Физический факультет. - Казань: КГУ, 2001. - 46 с. - Текст: электронный. - URL: [https://kpfu.ru/portal/docs/F\\_116194966/Kashheev.R.A..Figura.zemli.normalnoe.priblizhenie.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F_116194966/Kashheev.R.A..Figura.zemli.normalnoe.priblizhenie.pdf) (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа: открытый.
2. Кашеев Р.А. Методы определения физической поверхности Земли и фигуры регионального геоида: учебное пособие / Р.А. Кашеев; Казанский госуд. университет; Физический факультет. - Казань: КГУ, 2003. - 35 с. - Текст: электронный. - URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F1143271285/Kashheev.R.A..Metody.opredeleniya.fizicheskoy.poverkhnosti.Zemli.pdf> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа: открытый.
3. Кашеев Р.А. Теория определения фигуры планетарного геоида: учебное пособие / Р.А. Кашеев; Казанский госуд. университет; Физический факультет. - Казань: КГУ, 2001. - 40 с. - Текст: электронный. - URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F676539739/Kashheev.R.A..Teoriya.opredeleniya.figury.planetarnogo.geoida.pdf> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа: открытый.
4. Кашеев Р.А. Современные методы спутниковой гравиметрии. Конспект лекций / Р.А. Кашеев; Казанский федеральный ун-т; Институт физики. - Казань: КФУ, 2015. - 45 с. - Текст: электронный. - URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F642313586/Kashheev..R.A..Sovremennye.metody.sputnikovoj.gravimetrii.pdf> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа: открытый.



*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.06 Гравиметрия*

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 21.04.03 - Геодезия и дистанционное зондирование

Профиль подготовки: Дистанционное зондирование

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.