

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

<b>Код модуля</b>	<b>Модуль</b>
1160147	Небесная механика

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Геодезия и дистанционное зондирование	<b>Код ОП</b> 1. 21.03.03/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Геодезия и дистанционное зондирование	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 21.03.03

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико-математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Небесная механика

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль содержит две дисциплины: «Теория невозмущенного движения», «Теория возмущенного движения» и направлен на изучение механической формы движения небесных тел. В рамках модуля студенты получают знания о законах движения небесных тел и свойствах этих движений, а также приобретают умения и навыки по вычислению эфемерид и определению орбит естественных и искусственных небесных тел. Полученные студентами знания используются в практической деятельности, связанной с наблюдениями космических объектов и моделирования динамической эволюции.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Теория невозмущенного движения	3
2	Теория возмущенного движения	3
ИТОГО по модулю:		6

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	Не предусмотрены

## 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Теория возмущенного движения	ПК-1 - Способен использовать материалы дистанционного зондирования и геоинформационных технологий при проведении мониторинга	З-1 - Знать принципы проведения мониторинга окружающей среды У-1 - Способен самостоятельно использовать материалы дистанционного зондирования и геоинформационных технологий при проведении мониторинга

	окружающей среды и для рационального природопользования	окружающей среды и для рационального природопользования
	ПК-8 - Способен осуществлять геоинформационное обеспечение профессиональной деятельности в области геодезии, дистанционного зондирования, навигации, кадастрового учета и образования	У-1 - Способен самостоятельно осуществлять геоинформационное обеспечение профессиональной деятельности в области геодезии, дистанционного зондирования, навигации, кадастрового учета и образования
Теория невозмущенного движения	ПК-1 - Способен использовать материалы дистанционного зондирования и геоинформационных технологий при проведении мониторинга окружающей среды и для рационального природопользования	З-1 - Знать принципы проведения мониторинга окружающей среды
	ПК-8 - Способен осуществлять геоинформационное обеспечение профессиональной деятельности в области геодезии, дистанционного зондирования, навигации, кадастрового учета и образования	З-1 - Знать методы осуществления геоинформационного обеспечения профессиональной деятельности в области геодезии, дистанционного зондирования, навигации, кадастрового учета и образования

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Теория невозмущенного движения**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико- математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Введение	Предмет небесной механики. Отношение небесной механики к другим разделам астрономии. Основные задачи небесной механики. Краткий исторический очерк ее развития. Содержание курса небесной механики.
2	Задача двух тел	Постановка задачи. Дифференциальные уравнения движения в абсолютных, относительных и барицентрических координатах. Интегралы площадей. Интеграл энергии. Интеграл Лапласа. Уравнение орбиты. Типы невозмущенного движения (эллиптическое, параболическое, гиперболическое, круговое, прямолинейное). Скорость движения по орбите. Компоненты скорости. Космические скорости. Кеплеровы элементы орбиты.
3	Вычисление эфемерид небесных тел	Уравнение Гаусса. Эксцентрическая аномалия. Среднее движение и средняя аномалия. Уравнение Кеплера для эллиптического движения. Астрономическая система единиц. Обобщенный третий закон Кеплера. Определение масс планет, обладающих спутниками. Уравнение Баркера. Аналог уравнения Кеплера для гиперболической орбиты. Уравнение Эйлера. Формула Ламберта. Вычисление прямоугольных гелиоцентрических координат. Геоцентрические координаты. Эклиптические и экваториальные координаты. Векторные элементы. Сферические геоцентрические координаты. Вычисление невозмущенной эфемериды.

4	Определение невозмущенных орбит	Определение элементов орбиты по положению и скорости. Определение элементов орбиты по двум положениям. Метод Гаусса нахождения параметра орбиты. Решение уравнений Гаусса. Уравнение плоскости. Выражение площадей треугольников через время. Первое приближение для гелиоцентрических координат. Улучшение результатов первого приближения. Планетная абберация. Второе и дальнейшие приближения. Основы метода Лапласа определения орбиты по наблюдениям. Уточнение элементов орбит по полному набору наблюдений.
5	Ряды эллиптического движения	Разложение координат в эллиптическом движении: по степеням времени; в ряды Фурье; по степеням эксцентриситета. Формула Лагранжа. Уравнение центра. Сходимость рядов эллиптического движения.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности	ПК-1 - Способен использовать материалы дистанционного зондирования и геоинформационных технологий при проведении мониторинга окружающей среды и для рационального природопользования	З-1 - Знать принципы проведения мониторинга окружающей среды

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория невозмущенного движения

#### Электронные ресурсы (издания)

- Субботин, М. Ф.; Введение в теоретическую астрономию; Наука; 1966; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=439919> (Электронное издание)
- Ворович, И. И.; Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие. В 2 частях : монография. 2. ; Физматлит, Москва; 2010; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68150> (Электронное издание)

### Печатные издания

1. Дубошин, Г. Н.; Небесная механика. Основные задачи и методы : [для университетов по специальности "Астрономия"].; Наука, Москва; 1975 (7 экз.)
2. Дубошин, Г. Н.; Небесная механика. Аналитические и качественные методы : [учебное пособие для университетов].; Наука, Москва; 1964 (6 экз.)
3. Субботин, М. Ф.; Введение в теоретическую астрономию; Наука, Москва; 1968 (7 экз.)

### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Научная электронная библиотека. URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ADS. URL: [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)
2. SCIRUS. URL: <http://www.scirus.com/?PTS/>

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория невозмущенного движения

### Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Mozilla Firefox
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Mozilla Firefox



		Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES  Mozilla Firefox
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	<b>Не требуется</b>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Теория возмущенного движения**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико- математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 6 от 15.10.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Задача N тел	Уравнения абсолютного движения. Силовая функция. Интегралы движения барицентра. Интегралы площадей и энергии. Уравнения относительного движения. Понятие о пертурбационной функции и возмущенном движении. Координаты Якоби. Формула Лагранжа–Якоби. Теорема вириала. Сфера тяготения. Сфера действия.
2	Оскулирующие элементы	Определение оскулирующих элементов. Мгновенные и оскулирующие элементы. Оскулирующий эллипс. Основная операция. Уравнения Ньютона–Эйлера. Элементы, удобные при малых наклонах и эксцентриситетах. Уравнения Лагранжа. Разложение возмущающей функции. Вековые, смешанные, долгопериодические и короткопериодические возмущения.
3	Аналитическое интегрирование уравнений возмущенного движения	Метод малого параметра Ляпунова–Пуанкаре. Малые знаменатели. Сходимость классических разложений небесной механики.
4	Вековые возмущения	Теорема Лапласа–Лагранжа об отсутствии вековых возмущений больших полуосей планетных орбит. Теорема Лапласа об устойчивости Солнечной системы. Метод Гаусса вычисления вековых возмущений. Основные идеи метода осреднения. Основы теории Колмогорова–Арнольда–Мозера.
5	Ограниченная задача трех тел	Эйлеровы и лагранжевы случаи задачи трех тел. Уравнения движения. Интеграл Якоби. Поверхности нулевой скорости.

		Особые точки поверхности нулевой скорости. Критерий Тиссерана. Движение в окрестности точек либрации.
--	--	---

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности	ПК-8 - Способен осуществлять геоинформационное обеспечение профессиональной деятельности в области геодезии, дистанционного зондирования, навигации, кадастрового учета и образования	У-1 - Способен самостоятельно осуществлять геоинформационное обеспечение профессиональной деятельности в области геодезии, дистанционного зондирования, навигации, кадастрового учета и образования

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория возмущенного движения

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Субботин, М. Ф.; Введение в теоретическую астрономию; Наука; 1966; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=439919> (Электронное издание)
2. Ворович, И. И.; Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие. В 2 частях : монография. 2. ; Физматлит, Москва; 2010; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68150> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Дубошин, Г. Н.; Небесная механика. Основные задачи и методы : [для университетов по специальности "Астрономия"].; Наука, Москва; 1975 (7 экз.)
2. Дубошин, Г. Н.; Небесная механика. Аналитические и качественные методы : [учебное пособие для университетов].; Наука, Москва; 1964 (6 экз.)
3. Субботин, М. Ф.; Введение в теоретическую астрономию; Наука, Москва; 1968 (7 экз.)

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Научная электронная библиотека. URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>

2. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ADS. URL: [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)

2. SCIRUS. URL: <http://www.scirus.com/?PTS/>

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория возмущенного движения

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Mozilla Firefox
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Mozilla Firefox
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Mozilla Firefox

		Подключение к сети Интернет	
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	<b>Не требуется</b>