

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>
1147794	Небесная механика

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Астрономия	<b>Код ОП</b> 1. 03.05.01/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Астрономия	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 03.05.01

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

Дисциплины, входящие в модуль, - «Теория невозмущенного движения» и «Теория возмущенного движения» в совокупности изучают механические формы движения небесных тел (как естественных, так и искусственных). 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. Для успешного освоения модуля необходимо знание общей астрономии, сферической астрономии, общей астрометрии, механики. Полученные студентами знания используются в практической деятельности, связанной с наблюдениями космических объектов.

## 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

<b>Пререквизиты модуля</b>	1. Общая астрометрия 2. Общая астрометрия
<b>Постреквизиты и кореквизиты модуля</b>	1. Междисциплинарный курсовой проект 2. Междисциплинарный курсовой проект

## 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	ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и	3-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и

движения	обобщать результаты исследований в профессиональной области	экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области
	ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин	З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований  У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы
	ПК-5 - Способен вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками	З-1 - Характеризовать ключевые достижения астрономии и смежных наук в соответствующей предметной области  У-1 - Самостоятельно или под руководством проводить междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками
Теория невозмущенного движения	ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области	З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области
	ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин	З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований  У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы
	ПК-5 - Способен вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и	З-1 - Характеризовать ключевые достижения астрономии и смежных наук в соответствующей предметной области  У-1 - Самостоятельно или под руководством проводить междисциплинарные

	математикой и другими естественными науками	исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками
--	---	--

### **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
P1	Введение	Предмет небесной механики. Отношение небесной механики к другим разделам астрономии. Основные задачи небесной механики. Краткий исторический очерк ее развития. Содержание курса небесной механики.
P2	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.
P3	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.

<b>P4</b>	Определение невозмущенных орбит	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.
<b>P5</b>	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 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин	З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория невозмущенного движения

#### Электронные ресурсы (издания)

- Лагранж, ., Гохман, В. С., Дубошин, Г. Н.; Аналитическая механика; Государственное издательство технико-теоретической литературы, Москва, Ленинград; 1950; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=222737> (Электронное издание)
- Дубошин, Г. Н.; Sur la stabilité de certaines solutions particulières dans le problème du mouvement dans un milieu résistant : монография.; Издание Академии Наук СССР, Москва, Ленинград; 1935;



<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=471370> (Электронное издание)

3. Субботин, М. Ф.; Введение в теоретическую астрономию; Наука; 1966; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=439919> (Электронное издание)

4. 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. Аналитические и качественные методы : [учебное пособие для университетов].; Наука, Москва; 1964 (6 экз.)

2. Пуанкаре, А., Дубошин, Г. Н., Гребеников, Е. А.; Лекции по небесной механике; Наука, Москва; 1965 (1 экз.)

3. Субботин, М. Ф.; Введение в теоретическую астрономию; Наука, Москва; 1968 (7 экз.)

4. Ворович, И. И.; Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие : [монография : в 2 ч.]. Ч. 2. ; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2010 (1 экз.)

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

1 Система компьютерной алгебры TRIP, <http://www.imcce.fr/Equipes/ASD/trip/trip.php>.

2 Система компьютерной алгебры Piranha, <https://github.com/bluescarni/piranha>

3 Набор интеграторов гравитационной задачи N тел, NBI. <http://www.atmos.ucla.edu/~varadi>.

4 Интегратор задачи N тел Mercury 6.2. <http://www.arm.ac.uk/~jec/>.

#### **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 Научная электронная библиотека, <http://elibrary.ru/defaultx.asp>

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

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

### **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **Теория невозмущенного движения**

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

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Mathematica 6.0.1 Educational



**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
P1	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.
P2	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.
P3	Аналитическое интегрирование уравнений возмущенного движения	Метод малого параметра Ляпунова–Пуанкаре. Малые знаменатели. Сходимость классических разложений небесной механики.
P4	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.
P5	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-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин	З-1 - Изложить основные методы астрономических, физических и математических исследований

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория возмущенного движения

#### Электронные ресурсы (издания)

- Лагранж, ., Гохман, В. С., Дубошин, Г. Н.; Аналитическая механика; Государственное издательство технико-теоретической литературы, Москва, Ленинград; 1950; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=222737> (Электронное издание)
- Дубошин, Г. Н.; Sur la stabilité de certaines solutions particulières dans le problème du mouvement dans un milieu résistant : монография.; Издание Академии Наук СССР, Москва, Ленинград; 1935; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=471370> (Электронное издание)
- 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)
- , Шустов, Б. М., Рыхлова, Л. В.; Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра : монография.; Физматлит, Москва; 2010; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68834> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Пуанкаре, А., Дубошин, Г. Н., Гребеников, Е. А.; Лекции по небесной механике; Наука, Москва; 1965 (1 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.)
4. Ворович, И. И., Потетюнко, Э. Н., Юдович, В. И.; Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие : [монография].; Институт компьютерных исследований, Москва ; Ижевск; 2004 (1 экз.)
5. , Шустов, Б. М., Рыхлова, Л. В.; Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра : [монография].; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2010 (1 экз.)

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

- 1 Система компьютерной алгебры TRIP, <http://www.imcce.fr/Equipes/ASD/trip/trip.php>.
- 2 Система компьютерной алгебры Piranha, <https://github.com/bluescarni/piranha>
- 3 Набор интеграторов гравитационной задачи N тел, NBI. <http://www.atmos.ucla.edu/~varadi>.
- 4 Интегратор задачи N тел Mercury 6.2. <http://www.arm.ac.uk/~jec/>.

### **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 Научная электронная библиотека, <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
- 2 ADS, [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)
- 3 Зональная научная библиотека УрФУ <http://lib.urfu.ru>

## **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	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		<p>соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Mathematica 6.0.1 Educational