


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  
2020 г.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1155243	Теории движения небесных тел

Екатеринбург, 2020

<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	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Согласовано:**

Учебный отдел



# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Теории движения небесных тел

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят дисциплины «Теория движения искусственных спутников Земли», «Динамика Солнечной системы», «Планетные системы». В курсе «Теория движения искусственных спутников Земли» рассматриваются уравнения движения ИСЗ и основные возмущающим факторам. Изучаются особенности и закономерности эволюции орбит ИСЗ. В курсе «Динамика Солнечной системы» рассматриваются современные представления о строении Солнечной системы, основы математической теории устойчивости, асимптотические методы решения дифференциальных уравнений, теория резонансных систем, аналитические и численные теории движения больших планет, результаты численного моделирования движения больших планет на космогонических интервалах времени. В курсе «Планетные системы» рассматриваются происхождение, строение и динамическая эволюция планетных систем, а также методы их исследования.

## 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	Динамика Солнечной системы	3
2	Динамика планетных систем	5
3	Теория движения искусственных спутников Земли	4
ИТОГО по модулю:		12

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Небесная механика
Постреквизиты и кореквизиты модуля	Дополнительные главы астрометрии и небесной механики

## 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

Динамика Солнечной системы	ПК-3 - Способен к интенсивной научной и научно-исследовательской деятельности	З-1 - Знать основные принципы ведения научной и научно-исследовательской деятельности  У-1 - Самостоятельно решать поставленные задачи
	ПК-9 - Способен ориентироваться в прикладных аспектах научных исследований, совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в их основе	З-1 - Знать прикладные аспекты научных исследований  У-1 - Способен совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в основе прикладных аспектах научных исследований
Динамика планетных систем	ПК-3 - Способен к интенсивной научной и научно-исследовательской деятельности	З-1 - Знать основные принципы ведения научной и научно-исследовательской деятельности  У-1 - Самостоятельно решать поставленные задачи
	ПК-9 - Способен ориентироваться в прикладных аспектах научных исследований, совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в их основе	З-1 - Знать прикладные аспекты научных исследований
Теория движения искусственных спутников Земли	ПК-3 - Способен к интенсивной научной и научно-исследовательской деятельности	З-1 - Знать основные принципы ведения научной и научно-исследовательской деятельности  У-1 - Самостоятельно решать поставленные задачи
	ПК-9 - Способен ориентироваться в прикладных аспектах научных исследований, совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в их основе	З-1 - Знать прикладные аспекты научных исследований  У-1 - Способен совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в основе прикладных аспектах научных исследований

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Динамика Солнечной системы

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	Д.ф.-м.н., доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

Руководитель модуля

Кузнецов Э.Д.

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

## 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

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;

### 1.2. Содержание дисциплины

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Введение	Системы мира и эволюция взглядов на устойчивость Солнечной системы.
P2	Современные представления о строении Солнечной системы	Большие планеты Астероиды. Астероиды, сближающиеся с Землей. Астероидная опасность. Объекты группы Кентавра. Пояс Койпера. Облако Оорта. Долгопериодические кометы. Короткопериодические кометы. Вклад комет в астероидную опасность. Кратные кометные ядра. Метеорные потоки. Спутники планет. Спутники астероидов. Столкновения небесных тел. Уход из Солнечной системы. Формирование наблюдаемой структуры Солнечной системы.
P3	Основы теории устойчивости	Определения устойчивости по Лагранжу, по Пуассону, по Хиллу, по Ляпунову. Положение равновесия: устойчивость, асимптотическая устойчивость, неустойчивость. Устойчивость по части переменных. Орбитальная устойчивость. Устойчивость при постоянно действующих возмущениях. Устойчивость по первому приближению. Характеристический показатель Ляпунова. Экспоненциальное разбегание траекторий. Время Ляпунова.
P4	Асимптотические методы решения уравнений движения	Асимптотические ряды. Условно-периодические функции. Альфа-резонанс. Проблема малых знаменателей. Нелинейные колебания. Выбор начального приближения. Метод преобразований Ли. Уравнения замены переменных. Решение уравнений замены переменных. Геометрическая интерпретация решений многочастотных систем.
P5	Резонансы в Солнечной системе	Почти соизмеримость средних движений. Резонансные системы. Основные соотношения теории резонансов. Теория одиночного резонанса. Резонанс средних движений. Люки Кирквуда. Динамика астероидов в резонансе 3/1 с Юпитером.

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
		<p>Вековые резонансы. Захват в резонанс. Происхождение орбиты Плутона. Взаимодействие резонансов. Спутники Урана. Соизмеримость средних движений спутников планет. Хаотические резонансы. Динамика астероидов в резонансе 2/1 с Юпитером. Люк Гекубы. Хаос и устойчивость на больших временах. Астероиды группы Гильды. Резонанс 3/2 с Юпитером. Астероиды-трояницы планет-гигантов. Динамика комет семейства Юпитера. Динамика объектов во внешней области Солнечной системы</p>
Р6	Теории движения больших планет	<p>Теория Лапласа-Лагранжа. Развитие метода осреднения. Общие теории движения планет. Аналитические теории движения планет для расчета эфемерид. Численно-аналитические теории движения планет для исследования эволюции Солнечной системы на больших интервалах времени. Первые численные теории движения больших планет. Динамические модели движения больших планет DE, EPM, INPOP. Численные теории, описывающие эволюцию больших планет Солнечной системы на длительных интервалах времени.</p>
Р7	Моделирование движения планет Солнечной системы на космогонических интервалах времени	<p>Эволюция системы Земля-Луна. Инсоляция поверхности Земли. Эволюция наклона оси вращения Земли. Луна и происхождение жизни на Земле. Хаос в наклонах осей вращения планет. Эволюция орбит планет на космогонических интервалах времени. Сближения звезд с Солнечной системой.</p>
Р8	Внесолнечные планетные системы	<p>Классификация внесолнечных планетных систем. Резонансы. Устойчивость орбит экзопланет. Особенности формирования.</p>

1.3 Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

1. Ворович, И. И. Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие : [монография : в 2 ч.]. Ч. 2.– Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010.– 604 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68150>
2. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыхловой. – М. : Физматлит, 2010. – 385 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68834>

### Печатные издания

- 1 Дубошин Г.Н. Небесная механика: основные задачи и методы. М., Наука, 1975.– 8 экз
- 2 Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964. – 6 экз.
- 3 Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., Наука, 1968.– 7 экз.

### 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. Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
2. Электронная библиотека УрФУ [orac.urfu.ru](http://orac.urfu.ru)
3. Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 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. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном  Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с «Звездный атлас Aladin»: <a href="http://aladin.u-strasbg.fr/">http://aladin.u-strasbg.fr/</a> – свободное ПО; ПО для обработки астрономических изображений и визуализации данных «SAO Image DS9»: <a href="http://ds9.si.edu/site/Home.html">http://ds9.si.edu/site/Home.html</a> – свободное ПО;



2	Практические занятия	<p>Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном</p> <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<p>Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018</p> <p>Браузер Google Chrome – свободное ПО;</p> <p>Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО;</p> <p>MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с</p> <p>– свободное ПО;</p>
3	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>	
4	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Компьютеры с подключением к сети Интернет в соответствии с количеством студентов</p>	<p>Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018</p> <p>Браузер Google Chrome – свободное ПО;</p> <p>Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО;</p> <p>«Звездный атлас Aladin»: <a href="http://aladin.u-strasbg.fr/">http://aladin.u-strasbg.fr/</a> – свободное ПО;</p> <p>ПО для обработки астрономических изображений и визуализации данных «SAO Image DS9»: <a href="http://ds9.si.edu/site/Home.html">http://ds9.si.edu/site/Home.html</a> – свободное ПО;</p> <p>MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с</p>

## **ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Перечень примерных вопросов для зачёта/экзамена**

- 1 Системы мира и эволюция взглядов на устойчивость Солнечной системы.
- 2 Современные представления о строении Солнечной системы: большие планеты, малые тела.
- 3 Астероиды, сближающиеся с Землей. Астероидная опасность.
- 4 Объекты группы Кентавра. Пояс Койпера. Облако Оорта.
- 5 Долгопериодические кометы. Короткопериодические кометы. Вклад комет в астероидную опасность. Кратные кометные ядра. Метеорные потоки.
- 6 Спутники планет. Спутники астероидов.
- 7 Столкновения небесных тел. Уход из Солнечной системы. Формирование наблюдаемой структуры Солнечной системы.
- 8 Определения устойчивости по Лагранжу, по Пуассону, по Хиллу, по Ляпунову.
- 9 Положение равновесия: устойчивость, асимптотическая устойчивость, неустойчивость.
- 10 Устойчивость по части переменных. Орбитальная устойчивость.
- 11 Устойчивость при постоянно действующих возмущениях. Устойчивость по первому приближению.
- 12 Характеристический показатель Ляпунова. Экспоненциальное разбегание траекторий. Время Ляпунова.
- 13 Асимптотические ряды. Условно-периодические функции. Альфа-резонанс. Проблема малых знаменателей.
- 14 Нелинейные колебания. Выбор начального приближения.
- 15 Метод преобразований Ли. Уравнения замены переменных. Решение уравнений замены переменных. Геометрическая интерпретация решений многочастотных систем.
- 16 Почти соизмеримость средних движений. Резонансные системы. Основные соотношения теории резонансов. Теория одиночного резонанса.
- 17 Резонанс средних движений. Люки Кирквуда.
- 18 Динамика астероидов в резонансе 3/1 с Юпитером.
- 19 Вековые резонансы. Захват в резонанс. Происхождение орбиты Плутона.
- 20 Взаимодействие резонансов. Спутники Урана. Соизмеримость средних движений спутников планет. Хаотические резонансы.
- 21 Динамика астероидов в резонансе 2/1 с Юпитером. Люк Гекубы.
- 22 Хаос и устойчивость на больших временах. Астероиды группы Гильды. Резонанс 3/2 с Юпитером.
- 23 Астероиды-троянцы планет-гигантов.
- 24 Динамика комет семейства Юпитера.
- 25 Динамика объектов во внешней области Солнечной системы.
- 26 Аналитические теории движения больших планет.
- 27 Численные теории движения больших планет.
- 28 Эволюция системы Земля-Луна.
- 29 Инсоляция поверхности Земли. Эволюция наклона оси вращения Земли. Луна и происхождение жизни на Земле.
- 30 Хаос в наклонах осей вращения планет.
- 31 Эволюция орбит планет на космогонических интервалах времени. Сближения звезд с Солнечной системой.
- 32 Планетные системы пульсаров.
- 33 Планетные системы солнцеподобных звезд.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Динамика планетных систем

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	Д.ф.-м.н., доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

Руководитель модуля

Кузнецов Э.Д.

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

## 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

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;

### 1.2. Содержание дисциплины

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Введение	Законы Кеплера. Возмущенное движение. Разложение возмущающей функции.
P2	Канонические уравнения движения	Метод преобразований Ли. Канонические уравнения движения $N$ -планетной задачи. Разделение короткопериодической и долгопериодической эволюции. Вековая эволюция системы. Проблема малых знаменателей.
P3	Основы теории регуляризации в задачах небесной механики	Преобразование Леви–Чивита. Основы теории регуляризации. Оскулирующие элементы.
P4	Механизмы формирования стохастической эволюции	Хаотическая динамика в окрестности гиперболической седловой точки. Переход от хаоса к диффузии в двумерных системах. Диффузия Арнольда.
P5	Внесолнечные планетные системы	Планеты на близких орбитах: резонанс средних движений, близкие к резонансным пары на около круговых орбитах. Нерезонансные системы с существенной вековой динамикой. Слабо взаимодействующие пары планет.
P6	Уравнения движения для внесолнечных планетных систем	Астроцентрические уравнения движения. Канонические элементы Якоби. Канонические элементы Пуанкаре. Элементы Делоне. Кеплеровы элементы.
P7	Устойчивость орбит землеподобных планет	Динамические модели. Области движения землеподобных планет в зоне обитаемости.
P8	Осевое вращение землеподобных планет	Ледниковые периоды на Земле. Стабильность положения географического полюса Земли. Скорость и диапазон перемещения географического полюса.

1.3 Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

- 1 Ворович, И. И. Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие : [монография : в 2 ч.]. Ч. 2.– Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010.– 604 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68150>
- 2 Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыхловой. – М. : Физматлит, 2010. – 385 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68834>.

### Печатные издания

- 1 Дубошин Г.Н. Небесная механика: основные задачи и методы. М., Наука, 1975.– 8 экз.
- 2 Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964. – 6 экз.
- 3 Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., Наука, 1968.– 7 экз.

### 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. Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
2. Электронная библиотека УрФУ [orac.urfu.ru](http://orac.urfu.ru)
3. Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 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. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном  Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с «Звездный атлас Aladin»: <a href="http://aladin.u-strasbg.fr/">http://aladin.u-strasbg.fr/</a> – свободное ПО; ПО для обработки астрономических изображений и визуализации данных «SAO Image DS9»: <a href="http://ds9.si.edu/site/Home.html">http://ds9.si.edu/site/Home.html</a> – свободное ПО;

2	Практические занятия	<p>Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном</p> <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<p>Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018</p> <p>Браузер Google Chrome – свободное ПО;</p> <p>Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО;</p> <p>MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с</p> <p>– свободное ПО;</p>
3	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>	
4	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Компьютеры с подключением к сети Интернет в соответствии с количеством студентов</p>	<p>Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018</p> <p>Браузер Google Chrome – свободное ПО;</p> <p>Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО;</p> <p>«Звездный атлас Aladin»: <a href="http://aladin.u-strasbg.fr/">http://aladin.u-strasbg.fr/</a> – свободное ПО;</p> <p>ПО для обработки астрономических изображений и визуализации данных «SAO Image DS9»: <a href="http://ds9.si.edu/site/Home.html">http://ds9.si.edu/site/Home.html</a> – свободное ПО;</p> <p>MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с</p>

## **ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Перечень примерных вопросов для зачёта/экзамена**

- 1 Метод преобразований Ли.
- 2 Канонические уравнения движения  $N$ -планетной задачи.
- 3 Разделение короткопериодической и долгопериодической эволюции.
- 4 Вековая эволюция системы.
- 5 Проблема малых знаменателей.
- 6 Преобразование Леви–Чивита.
- 7 Основы теории регуляризации.
- 8 Оскулирующие элементы.
- 9 Хаотическая динамика в окрестности гиперболической седловой точки.
- 10 Переход от хаоса к диффузии в двумерных системах.
- 11 Диффузия Арнольда.
- 12 Планеты на близких орбитах: резонанс средних движений.
- 13 Планеты на близких орбитах: близкие к резонансным пары на около круговых орбитах.
- 14 Нерезонансные системы с существенной вековой динамикой.
- 15 Слабо взаимодействующие пары планет.
- 16 Астроцентрические уравнения движения.
- 17 Канонические элементы Якоби.
- 18 Канонические элементы Пуанкаре.
- 19 Элементы Делоне.
- 20 Кеплеровы элементы.
- 21 Динамические модели движения землеподобных планет.
- 22 Области движения землеподобных планет в зоне обитаемости.
- 23 Ледниковые периоды на Земле. Стабильность положения географического полюса Земли.
- 24 Скорость и диапазон перемещения географического полюса.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория движения искусственных спутников Земли

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	Д.ф.-м.н., доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Руководитель модуля**

**Кузнецов Э.Д.**

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



## 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

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;

### 1.2. Содержание дисциплины

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	Системы координат	Инерциальная система координат. Вращающиеся геоцентрические системы координат. Топоцентрические системы координат. Орбитальные системы координат.
P2	Формы представления гравитационного поля Земли	Притяжение объемного тела. Основные сведения о полиномах Лежандра. Присоединенные функции Лежандра. Общее выражение для сферических функций. Нормированные и полностью нормированные функции Лежандра. Разложение потенциала в ряд по сферическим функциям. Различные формы записи потенциала притяжения Земли. Структура разложения потенциала Земли. Определение постоянных гравитационного поля Земли. Модели гравитационного потенциала Земли. Представление потенциала Земли системой точечных масс.
P3	Классические формы представления уравнение движения ИСЗ	Уравнения движения в прямоугольных координатах. Уравнения движения в оскулирующих кеплеровых элементах. Вывод уравнений в возмущениях канонических переменных методом Гамильтона–Якоби.
P4	Возмущающие силы в теории движения ИСЗ	Возмущения от несферичности гравитационного потенциала Земли. Возмущения от приливных деформаций центрального тела. Лунно-солнечные возмущения. Возмущения от светового давления. Возмущения от сопротивления атмосферы. Малые возмущающие факторы. Классификация орбит ИСЗ
P5	Главная проблема в теории движения ИСЗ	Возмущающая функция. Вековые возмущения. Короткопериодические возмущения. Задача Акнеса. Задачи Винти и Кислика. Задача двух неподвижных центров.
P6	Аналитические методы в теории движения ИСЗ	Вывод уравнений в возмущениях промежуточного движения обобщенным методом Лагранжа.

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
		Уравнения движения в эйлеровых элементах. Метод Цейпеля. Метод рядов и преобразований Ли (метод Хори–Депри).
P7	Представление правых частей уравнений движения в виде функции элементов орбит	Формы представления потенциала Земли в виде функции элементов орбит. Особенности вычисления лунно-солнечных возмущений.
P8	Численное моделирование движения ИСЗ	Особенности численного интегрирования уравнений движения ИСЗ. Рекуррентные алгоритмы для вычисления шаровых функций $V_{n,m}$ и их производных. Вычисление возмущений от приливных деформаций центрального тела. Особенности представления других возмущений в численном моделировании движения ИСЗ

1.3 Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

- 1 Субботин, М. Ф. Введение в теоретическую астрономию / М.Ф. Субботин : Наука, 1966 .— 800 с. — <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=439919>>.
- 2 Небесная механика [Электронный ресурс] .— Электрон. дан. ([485] Мб) .— [Б. м.] : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", [2005] .— 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) .— (Электронная библиотека) .— Загл. с этикетки диска .— Доступ из сети Научной библиотеки УрГУ – <URL:<http://lib.usu.ru/storage/1310983/>>.

### Печатные издания

- 1 Дубошин, Георгий Николаевич. Небесная механика. Основные задачи и методы : [для университетов по специальности "Астрономия"] / Г. Н. Дубошин .— Изд. 3-е, доп. — Москва : Наука, 1975 .— 799 с. : черт. – 7 экз.
- 2 Дубошин, Георгий Николаевич. Небесная механика. Методы теории движения искусственных небесных тел : [учебное пособие для университетов] / Г. Н. Дубошин .— Москва : Наука, 1983 .— 351 с. — Библиогр.: с. 351 (21 назв.). – 4 экз.

### 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. Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
2. Электронная библиотека УрФУ [oras.urfu.ru](http://oras.urfu.ru)
3. Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 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. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном  Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с «Звездный атлас Aladin»: <a href="http://aladin.u-strasbg.fr/">http://aladin.u-strasbg.fr/</a> – свободное ПО; ПО для обработки астрономических изображений и визуализации данных «SAO Image DS9»: <a href="http://ds9.si.edu/site/Home.html">http://ds9.si.edu/site/Home.html</a> – свободное ПО;
2	Практические занятия	Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном  Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с – свободное ПО;
3	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная	
4	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Компьютеры с подключением к сети Интернет в соответствии с количеством студентов	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; «Звездный атлас Aladin»: <a href="http://aladin.u-strasbg.fr/">http://aladin.u-strasbg.fr/</a> – свободное ПО; ПО для обработки астрономических изображений и визуализации данных «SAO

			<p>Image DS9»: <a href="http://ds9.si.edu/site/Home.html">http://ds9.si.edu/site/Home.html</a> – свободное ПО;</p> <p>MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с</p>
--	--	--	--

## **ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Перечень примерных вопросов для зачёта/экзамена**

- 1 Инерциальная система координат.
- 2 Вращающиеся геоцентрические системы координат.
- 3 Топоцентрические системы координат.
- 4 Орбитальные системы координат.
- 5 Притяжение объемного тела.
- 6 Основные сведения о полиномах Лежандра. Присоединенные функции Лежандра.
- 7 Общее выражение для сферических функций. Нормированные и полностью нормированные функции Лежандра.
- 8 Разложение потенциала в ряд по сферическим функциям. Различные формы записи потенциала притяжения Земли.
- 9 Структура разложения потенциала Земли. Определение постоянных гравитационного поля Земли.
- 10 Модели гравитационного потенциала Земли. Представление потенциала Земли системой точечных масс.
- 11 Уравнения движения в прямоугольных координатах.
- 12 Уравнения движения в оскулирующих кеплеровых элементах.
- 13 Вывод уравнений в возмущениях канонических переменных методом Гамильтона–Якоби
- 14 Возмущения от несферичности гравитационного потенциала Земли.
- 15 Возмущения от приливных деформаций центрального тела.
- 16 Лунно-солнечные возмущения.
- 17 Возмущения от светового давления.
- 18 Возмущения от сопротивления атмосферы.
- 19 Малые возмущающие факторы.
- 20 Классификация орбит ИСЗ
- 21 Главная проблема в теории движения ИСЗ. Возмущающая функция. Вековые возмущения. Короткопериодические возмущения.
- 22 Задача Акнеса. Задачи Винти и Кислика.
- 23 Задача двух неподвижных центров.
- 24 Вывод уравнений в возмущениях промежуточного движения обобщенным методом Лагранжа.
- 25 Уравнения движения в эйлеровых элементах.
- 26 Метод Цейпеля.
- 27 Метод рядов и преобразований Ли (метод Хори–Депри)
- 28 Формы представления потенциала Земли в виде функции элементов орбит.
- 29 Особенности вычисления лунно-солнечных возмущений.
- 30 Особенности численного интегрирования уравнений движения ИСЗ.
- 31 Рекуррентные алгоритмы для вычисления шаровых функций  $V_{n,m}$  и их производных.
- 32 Вычисление возмущений от приливных деформаций центрального тела.
- 33 Особенности представления других возмущений в численном моделировании движения ИСЗ.