

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
1147794	Небесная механика

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 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>	Математические основы профессиональной деятельности, Общая физика, Общая астрономия, Теоретическая физика
<b>Постреквизиты и кореквизиты модуля</b>	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
Теория возмущенного 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

Теория возмущенного движения	ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин	З-1 - Знать основные методы астрономических, физических и математических исследований У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы
Теория возмущенного движения	ПК-5 - Способен вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками	З-1 - Знать 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
Теория невозмущенного движения	ПК-1 - Владеет методами астрономического, физического и математического исследований при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин	З-1 - Знать основные методы астрономических, физических и математических исследований У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы
Теория невозмущенного движения	ПК-5 - Способен вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками	З-1 - Знать 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

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Теория невозмущенного движения

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

**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	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.
P4	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 абберрация. Второе и дальнейшие приближения. Основы метода Лапласа

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
		определения орбиты по наблюдениям. Уточнение элементов орбит по полному набору наблюдений.
Р5	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 Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

1. 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 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.
- 4 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>

### 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	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	<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 B 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>«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>
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>Компьютеры с подключением к сети Интернет 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 B 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>«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>
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 B 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</p>



			<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**

2. Задача двух тел: постановка задачи, уравнения движения, интегралы движения центра масс.
3. Задача двух тел: интеграл площадей.
4. Задача двух тел: интеграл энергии.
5. Задача двух тел: интеграл Лапласа.
6. Уравнение орбиты.
7. Скорость движения по орбите, компоненты скорости, формула квадрата скорости.
8. Космические скорости.
9. Кеплеровы элементы орбиты.
10. Эксцентрисическая аномалия. Уравнение Гаусса.
11. Среднее движение и средняя аномалия. Уравнение Кеплера.
12. Астрономическая система единиц.
13. Обобщенный третий закон Кеплера. Определение масс планет, обладающих спутниками.
14. Движение по гиперболической орбите.
15. Движение по параболической орбите.
16. Уравнение Эйлера.
17. Формула Ламберта.
18. Переход от элементов орбиты к прямоугольным координатам.
19. Эклиптические и экваториальные координаты. Векторные элементы орбиты.
20. Гелиоцентрические и геоцентрические координаты.
21. Вычисление невозмущенной эфемериды.
22. Определение орбиты по положению и скорости в начальный момент.
23. Определение орбиты по двум положениям.
24. Определение параболической орбиты по двум положениям.
25. Метод Гаусса нахождения параметра орбиты.
26. Решение уравнений Гаусса, определяющих отношение площадей сектора и треугольника.
27. Метод Гаусса определения орбиты по наблюдениям: число наблюдений, необходимых для определения орбиты; уравнение плоскости.
28. Метод Гаусса определения орбиты по наблюдениям: выражение площадей треугольников через время.
29. Метод Гаусса определения орбиты по наблюдениям: первое приближение для гелиоцентрических координат.
30. Метод Гаусса определения орбиты по наблюдениям: улучшение результатов первого приближения, второе и дальнейшие приближения.
31. Метод Лапласа определения орбиты по наблюдениям.
32. Улучшение орбит.
33. Разложения по степеням эксцентриситета.
34. Уравнение центра.
35. Разложения в ряды Фурье.

## 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	д.ф.-м.н., доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

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

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

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

1. 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.— :<http://lib.usu.ru/storage/1310983/>.
2. Ворович, И.И. Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие. В 2 частях / И.И. Ворович. □ М. : Физматлит, 2010. □ Ч. 2. □ 602 с. □ Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68150>.
3. 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 [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	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;

		<p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</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>
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>Компьютеры с подключением к сети Интернет 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>«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>
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 Силовая функция системы  $N$  материальных точек.
- 2 Задача  $N$  тел: первые интегралы движения.
- 3 Задача  $N$  тел: уравнения относительного движения.
- 4 Задача  $N$  тел: уравнения движения в координатах Якоби.
- 5 Формула Лагранжа–Якоби. Теорема вириала.
- 6 Гравитационные сферы.
- 7 Мгновенные и оскулирующие элементы.
- 8 Основная операция.
- 9 Уравнения Ньютона–Эйлера для параметра орбиты, долготы восходящего узла и наклона.
- 10 Уравнение Ньютона–Эйлера для большой полуоси.
- 11 Уравнение Ньютона–Эйлера для эксцентриситета.
- 12 Уравнение Ньютона–Эйлера для аргумента широты.
- 13 Уравнение Ньютона–Эйлера для средней аномалии.
- 14 Уравнения Лагранжа, их свойства.
- 15 Разложение возмущающей функции.
- 16 Метод малого параметра Ляпунова–Пуанкаре.
- 17 Классификация возмущений.
- 18 Малые знаменатели. Сходимость классических разложений небесной механики.
- 19 Теорема Лапласа–Лагранжа об отсутствии вековых возмущений больших полуосей планетных орбит.
- 20 Метод Гаусса вычисления вековых возмущений.
- 21 Основные идеи метода осреднения.
- 22 Теорема Лапласа об устойчивости Солнечной системы.
- 23 Основы теории Колмогорова–Арнольда–Мозера.
- 24 Эйлеровы и Лагранжевы случаи задачи трех тел.
- 25 Уравнения движения ограниченной задачи трех тел. Интеграл Якоби.
- 26 Поверхности нулевой скорости в ограниченной задаче трех тел.
- 27 Особые точки поверхности нулевой скорости в ограниченной задаче трех тел.
- 28 Критерий Тиссерана.