

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



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Талорский Д.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

**Программа дисциплины**  
Небесная механика С3.Б.5

Специальность: 011501.65 - Астрономия

Специализация: не предусмотрено

Квалификация выпускника: специалист

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Соколова М.Г.

**Рецензент(ы):**

Загретдинов Р.В.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Бикмаев И. Ф.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 639117

Казань  
2017

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Соколова М.Г. Кафедра астрономии и космической геодезии Отделение астрофизики и космической геодезии, smarina.63@mail.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины (модуля) "Небесная механика" является изучение законов невозмущенного и возмущенного движения небесных тел и ИСЗ, методов решения уравнений движения тел Солнечной системы и методов определения их орбиты, Рассматриваются элементы возмущенного движения, определяется понятие силовой функции как в задаче многих тел, так и в ограниченных задачах небесной механики.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "СЗ.Б.5 Профессиональный" основной образовательной программы 011501.65 Астрономия и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 3 курсе, 5 семестр.

Данная учебная дисциплина входит в цикл профессиональных дисциплин. Дисциплина должна изучаться после освоения дисциплин "Математика", "Физика", "Информатика", "Общая астрономия", "Геодезическая астрономия". Изучение дисциплины предшествует изучению таких дисциплин как "Астрометрия". "Современные методы наблюдений", "Галактическая астрономия", "Космология", учебные практики.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	- способность представлять современную картину мира на основе целостной системы естественно-научных знаний
ОК-6 (общекультурные компетенции)	- владение культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, критическому осмыслению, систематизации, прогнозированию, постановке целей и выбору путей их достижения
ПК-1 (профессиональные компетенции)	- способность ориентироваться в базовых астрономических и физико-математических теориях и применять их в научных исследованиях (ПК-1)
ПК-6 (профессиональные компетенции)	- владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, наличием навыков работы с компьютером как средством получения и обмена информацией
ПСК-3.1	- знание основных задач и методов небесной механики, основ определения орбит небесных тел, знанием методов численного интегрирования и методов построения аналитических теорий
ПСК- 3.2	- знание и использованием методов наблюдения небесных тел, умением обрабатывать результаты наблюдений
ПСК-3.3	- умение использовать приобретенные знания в исследованиях по небесной механике, звездной динамике и астродинамике

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основные законы движения небесных тел, элементы орбиты и диапазон их изменения, методы определения орбит спутников из наблюдений, типы движения спутников, астероидов, комет, основы теории движения ИСЗ;

2. должен уметь:

вычислять поисковую эфемериду спутников, элементы орбиты по угловым и смешанным наблюдениям;

3. должен владеть:

методикой вычисления и улучшения эфемерид и орбит небесных тел из наблюдений

4. должен демонстрировать способность и готовность:

работать с данными астрономических наблюдений и каталогов

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных(ые) единиц(ы) 252 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 5 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Предмет и задачи небесной механики. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники.	5	1	4	0	4	Письменное домашнее задание
2.	Тема 2. Задача двух тел. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.	5	2	4	0	4	Устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
3.	Тема 3. Типы невозмущенного движения спутника. Уравнение траектории движения небесного тела.	5	3	4	0	4	Письменное домашнее задание
4.	Тема 4. Эфемерида небесного тела и ее определение.	5	4	4	0	4	Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Постановка задачи и методы определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.	5	5-8	10	0	16	Контрольная работа
6.	Тема 6. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.	5	9	4	0	8	Письменное домашнее задание
7.	Тема 7. Понятие возмущаемого движения. Задачи N - тел в небесной механике.	5	10-12	8	0	4	Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Метод вариации произвольной постоянной. Общая схема метода.	5	13-14	6	0	4	
9.	Тема 9. Канонические уравнения в небесной механике и понятие их интегрируемости.	5	15-16	6	0	4	Письменное домашнее задание
10.	Тема 10. Ограниченная задача трех тел.	5	17-18	4	0	2	Презентация
	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	Экзамен
	Итого			54	0	54	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Предмет и задачи небесной механики. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники.

#### *лекционное занятие (4 часа(ов)):*

Исторический очерк развития небесной механики как науки. Основные этапы и достижения. Постановка задачи двух тел и дифференциальные уравнения. Система единиц измерения в небесной механике, постоянная Гаусса.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Решение задач по определению гравитационных параметров центральных тел (в системе СИ, в астрономической системе единиц).

**Тема 2. Задача двух тел. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Интегралы площадей в скалярном и векторном видах, в полярных координатах, их следствия. Интегралы энергии и Лапласа. Законы Кеплера.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Решение задач по определению параметров движения спутника на основе законов Кеплера.

**Тема 3. Типы невозмущенного движения спутника. Уравнение траектории движения небесного тела.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Эллиптическое, параболическое, гиперболическое, круговое, прямолинейное движение спутника. Астрономический смысл постоянных интегрирования, кеплеровские элементы орбиты, пределы их изменения. Уравнение Кеплера и способы его решения. Основные формулы кругового, эллиптического, параболического и гиперболического движений.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Решение задач на определение кеплеровских элементов орбит, скорости спутника и ее компонент. Решение уравнения Кеплера для разных типов орбит. Задача определения времени перелета спутника по орбите.

**Тема 4. Эфемерида небесного тела и ее определение.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Назначение эфемериды и ее точность. Вычисление прямоугольных гелиоцентрических и геоцентрических координат. Переход к экваториальным и эклиптическим гелио- и геоцентрическим координатам

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Вычисление прямоугольных гелиоцентрических и геоцентрических координат. Переход к экваториальным и эклиптическим гелио- и гео-центрическим координатам.

**Тема 5. Постановка задачи и методы определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.**

**лекционное занятие (10 часа(ов)):**

Методы Лагранжа, Гаусса, Лапласа, Эскобала, по трем угловым наблюдениям, по смешанным данным. Определение приближенной невозмущенной орбиты по двум наблюдениям.

**лабораторная работа (16 часа(ов)):**

Определение приближенной невозмущенной орбиты по двум наблюдениям, по трем угловым наблюдениям методами Лагранжа, Гаусса, Лапласа, Эскобала, по смешанным данным.

**Тема 6. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Способ вариации элементов орбит. Дифференциальный способ улучшения орбит. Разложение координат в ряды по степеням времени, эксцентрической и средней аномалий.

**лабораторная работа (8 часа(ов)):**

Решение дифференциальных уравнений движения спутника методом численного интегрирования.

**Тема 7. Понятие возмущаемого движения. Задачи N - тел в небесной механики.**

**лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Возмущающая сила. Действие составляющей возмущающей силы. Равнение в абсолютных координатах. Силовая функция и ее свойства. Интегралы уравнений. Работы Брукса, Пуанкаре, Пенлеве. Движение Солнечной системы относительно звезд. Плотность Лапласа.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Общая характеристика теорий движения планет, основные возмущения их орбит.

**Тема 8. Метод вариации произвольной постоянной. Общая схема метода.**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Оскулирующие элементы. Основная операция. Вывод уравнений Эйлера (Ньютона). Уравнение ИСЗ в центральном поле тяготения с учетом сопротивления атмосферы.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Характеристика теорий движения спутников планет, основные возмущения их орбит.

**Тема 9. Канонические уравнения в небесной механике и понятие их интегрируемости.**

**лекционное занятие (6 часа(ов)):**

Канонические уравнения эллиптического движения. Уравнения Лагранжа. Вывод уравнений Лагранжа. Решение уравнений движения планет в форме Лагранжа. Свойства возмущений. Малые делители и понятие резонанса в небесной механике.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Характеристика теорий движения астероидов и комет, основные возмущения их орбит.

**Тема 10. Ограниченная задача трех тел.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Постановки задачи. Уравнение движения в абсолютных координатах. Вывод уравнений в синодической системе координат.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Характеристика теорий движения ИСЗ, основные возмущения их орбит.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Предмет и задачи небесной механики. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники.	5	1	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
2.	Тема 2. Задача двух тел. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.	5	2	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
3.	Тема 3. Типы невозмущенного движения спутника. Уравнение траектории движения небесного тела.	5	3	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание
4.	Тема 4. Эфемерида небесного тела и ее определение.	5	4	подготовка домашнего задания	16	домашнее задание
5.	Тема 5. Постановка задачи и методы определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.	5	5-8	подготовка домашнего задания	22	домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	8	контрольная работа

№	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
6.	Тема 6. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.	5	9	подготовка домашнего задания	20	домашнее задание
7.	Тема 7. Понятие возмущаемого движения. Задачи N - тел в небесной механики.	5	10-12	подготовка домашнего задания	8	домашнее задание
9.	Тема 9. Канонические уравнения в небесной механике и понятие их интегрируемости.	5	15-16	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
10.	Тема 10. Ограниченная задача трех тел.	5	17-18	подготовка к презентации	8	презентация
	Итого				108	

### 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Используются такие интерактивные формы обучения как обсуждение теоретических вопросов, подготовка и представление докладов и презентаций, проведение устных опросов и тестирования, применение роли экспертов для студентов при проверке заданий, выполненных другими студентами, анализ полученных результатов решений задач.

### 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

#### Тема 1. Предмет и задачи небесной механики. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники.

домашнее задание , примерные вопросы:

Решение задач: тема 2-4. Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Учебно-методическое пособие предназначено для практических занятий по дисциплине "Небесная механика". КГУ. Казань, 2009, 37 с.

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/otdelenie-astrofiziki-i-kosmicheskoy-geodezii/uchebnaya-rabota/spis>  
(ОК-1, ОК-6, ПК-1, ПСК-3.1)

#### Тема 2. Задача двух тел. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.

устный опрос , примерные вопросы:

Устный блиц-опрос по тематике: общая постановка задачи двух тел, основные уравнения абсолютного движения, основные уравнения относительного движения, уравнение движения в случае не притягивающего, уравнение движения в случае притягивающего ИСЗ, их отличие друг от друга, понятие гравитационного параметра и его запись единицы измерения гравитационного параметра. (ОК-1, ОК-6, ПК-1, ПСК-3.1)

#### Тема 3. Типы невозмущенного движения спутника. Уравнение траектории движения небесного тела.

домашнее задание , примерные вопросы:



Решение задач: тема 5-8. Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Учебно-методическое пособие предназначено для практических занятий по дисциплине "Небесная механика". КГУ. Казань, 2009, 37 с.

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/otdelenie-astrofiziki-i-kosmicheskoy-geodezii/uchebnaya-rabota/spis>  
(ПК-1, ПК-6, ПСК-3.1)

#### **Тема 4. Эфемерида небесного тела и ее определение.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Вычисление эфемерида спутника на заданные моменты времени (индивидуально по вариантам, тема 9). Вычисление времени перелета спутника по орбите (индивидуально по вариантам, тема 10). Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Учебно-методическое пособие предназначено для практических занятий по дисциплине "Небесная механика". КГУ. Казань, 2009, 37 с.

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/otdelenie-astrofiziki-i-kosmicheskoy-geodezii/uchebnaya-rabota/spis>  
(ПК-6, ПСК-3.1, ПСК-3.2)

#### **Тема 5. Постановка задачи и методы определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.**

домашнее задание, примерные вопросы:

Определение орбит спутников по одному, двум, трем наблюдениям (индивидуально по вариантам) М.Г.Ишмухметова, Е.Д.Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 1. Методическое пособие. КГУ. 2001. 24 с. (ПК-6, ПСК-3.1, ПСК-3.2)

контрольная работа , примерные вопросы:

Решение трех задач (темы 2-8) Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Учебно-методическое пособие предназначено для практических занятий по дисциплине "Небесная механика". КГУ. Казань, 2009, 37 с.

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/otdelenie-astrofiziki-i-kosmicheskoy-geodezii/uchebnaya-rabota/spis>  
(ПК-1, ПК-6, ПСК-3.1, ПСК-3.2)

#### **Тема 6. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Определение координат путем разложения в ряды по степеням времени, эксцентрической и средней аномалий. М.Г. Ишмухметова, Е.Д. Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 2. Методическое пособие. КГУ. 2001. 24 с. (ПК-6, ПСК-3.1, ПСК-3.2)

#### **Тема 7. Понятие возмущаемого движения. Задачи N - тел в небесной механики.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Определение орбиты спутника методом численного интегрирования. (разбор примера) М.Г. Ишмухметова, Е.Д. Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 2. Методическое пособие. КГУ. 2002. 28 с. (ПК-6, ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.3)

#### **Тема 8. Метод вариации произвольной постоянной. Общая схема метода.**

#### **Тема 9. Канонические уравнения в небесной механике и понятие их интегрируемости.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Изучение теорий возмущенного движения тел Солнечной системы. (ОК-1, ОК-6, ПСК-3.2, ПСК-3.3)

#### **Тема 10. Ограниченная задача трех тел.**

презентация , примерные вопросы:

Темы докладов: особенности движения тел Солнечной системы различных классов (планет, спутников, астероидов, комет, метеороидов, ИСЗ); космические миссии (орбиты КА, программы, результаты исследований) (ОК-1, ОК-6, ПСК-3.2, ПСК-3.3)

#### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Темы лабораторных работ и контрольных заданий

1. Решение задач на нахождение параметров движения спутников в невозмущенном движении в задаче двух тел.

2. Вычисление эфемериды движущегося небесного тела по известным элементам их орбит в заданной системе координат.
3. Определение предварительной орбиты по нескольким наблюдаемым положениям спутника одним из предложенных методов.
4. Определение скоростных параметров спутника и формы его орбиты
5. Определение элементов по известному положению спутника в заданный момент времени
6. Решение уравнения Кеплера. Перелет спутника по орбите
7. Определение координат спутника в различных системах координат
8. Определение элементов орбит по одному, двум, трем наблюдениям спутника одним из предложенных методов
9. Определение координат путем разложения в ряды по степеням времени, эксцентрической и средней аномалий.
10. Определение орбиты спутника методом численного интегрирования.
11. Изучение теорий возмущенного движения тел Солнечной системы.

Примеры заданий на письменную контрольную работу

1. Нептун имеет большую полуось орбиты 30.09 а.е. Найдите период обращения и среднюю суточную скорость планеты относительно Солнца. Отношение масс Солнца и Нептуна равно 19500.
2. На расстоянии 20000 км от центра Земли в перигее спутник имел скорость 2,8 км/с. Найдите параметры орбиты спутника, его минимальную скорость.
3. ИСЗ имел максимальную высоту 1527 км, а минимальную - 1210 км. Найдите высоту ИСЗ для момента, равному  $\frac{1}{2}$  его периода.
4. Вычислите I и II космические скорости, а также период обращения нулевого спутника Марса, если радиус планеты 3407 км, а отношение масс Солнца и планеты равно 30904103.
5. На расстоянии 400 км над поверхностью Марса спутник имел скорость 8,7 км/с. Определите форму орбиты спутника относительно Марса.
6. ИСЗ имеет максимальное расстояние от центра Земли 17000 км, а минимальное - 7900 км. В точке орбиты, истинная аномалия которой равна 132°, ИСЗ будет переведен на другую орбиту. Найдите время полета ИСЗ от перигея его орбиты до заданной точки орбиты.
7. Вычислите I и II космические скорости, а также период обращения нулевого спутника Меркурия, если радиус планеты - 2330 км, а отношение масс Солнца и планеты составляет 61004103.
8. На расстоянии 25000 км от центра Луны спутник имел скорость 6,8 км/с. Какую форму орбиты имеет спутник относительно Луны? Гравитационный параметр Луны равен  $4902874103 \text{ м}^3 \text{ с}^{-2}$
9. ИСЗ имел максимальную высоту 927 км, а минимальную - 340 км. Найдите расстояние ИСЗ от центра Земли для момента, когда средняя аномалия ИСЗ равна 230°.

Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Учебно-методическое пособие предназначено для практических занятий по дисциплине "Небесная механика". КГУ. Казань, 2009, 37 с. (основные формулы и тексты задач)

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/otdelenie-astrofiziki-i-kosmicheskoy-geodezii/uchebnaya-rabota/spis>

Темы докладов:

особенности движения тел Солнечной системы различных классов (планет, спутников, астероидов, комет, метеороидов, ИСЗ), их основные возмущения.

**БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНУ**

Билет ♦ 1

- 1) Задача двух тел. общая постановка, основные уравнения движения.
- 2) Ограниченная задача 3-х тел. Области движения.

Билет ♦ 2

- 1) Уравнение движения в случае не притягивающего и притягивающего ИСЗ.
- 2) Ограниченная задача 3-х тел. Точки либрации, вычисление их координат.

Билет ♦ 3

- 1) Первые интегралы задачи 2-х тел. Движение ИСЗ происходит в плоскости, проходящей через притягивающий центр.
- 2) Открытие Нептуна.

Билет ♦ 4

- 1) Интеграл площадей. Три формы интеграла площадей (векторная, координатная и полярная)
- 2) Ограниченная задача 3-х тел. Движение в окрестности точек либрации.

Билет ♦ 5

- 1) Задача 2-х тел. Интеграл движения.
- 2) Канонические уравнения эллиптического движения, уравнения Лагранжа.

Билет ♦ 6

- 1) Задача 2-х тел. Интегралы Лапласа.
- 2) Задача  $n$  - тел. Постановка задачи, уравнения движения в абсолютных координатах. Силовая функция и её свойства.

Билет ♦ 7

- 1) Астрономическая интерпретация постоянных интегрирования.
- 2) Задача  $n$  - тел. Интегралы уравнений. Результаты Брунса, Пуанкаре и Пенлеве.

Билет ♦ 8

- 1) Кеплеровские элементы орбиты, их назначение, границы изменения.
- 2) Движение солнечной системы относительно звёзд.

Билет ♦ 9

- 1) Законы Кеплера. Уравнение Кеплера.
- 2) Плоскость Лапласа.

Билет ♦ 10

- 1) Интеграл энергии и форма орбиты тела.
- 2) Уравнение Эйлера (Ньютона). Вывод для

Билет ♦ 11

- 1) Истинная, эксцентрическая и средняя аномалия. Постоянная Гаусса.
- 2) Действия составляющих возмущающей силы (геометрическая интерпретация).

Билет ♦ 12

- 1) Вычисление  $r$  и  $v$  по элементам орбиты, плоская задача.
- 2) Понятие о возмущающей силе.

Билет ♦ 13

- 1) Вычисление прямоугольных координат тела в пространстве.
- 2) Уравнения Эйлера (Ньютона), вывод для  $a$  и  $e$ .

Билет ♦ 14

- 1) Переход от эклиптических гелиоцентрических к экваториальным гелиоцентрическим, экваториальным геоцентрическим и к экваториальным геоцентрическим сферическим координатам.
- 2) Движение ИСЗ в нецентральной поле тяготения.

Билет ♦ 15

- 1) Эфемерида. Постановка задачи, основные уравнения.
- 2) Уравнения движения ИСЗ с учётом сопротивления атмосферы.

Билет ♦ 16

- 1) Разложение координат в ряды по степеням времени.
- 2) Решение уравнения движения планет в форме Лагранжа. Свойства возмущений.

Билет ♦ 17

- 1) Метод Лагранжа определение элементов орбиты тела. Постановка задачи, ход решения.
- 2) Задача  $n$  - тел. Первая форма уравнений относительного движения. Пертурбационная функция.

Билет ♦ 18

- 1) Основное уравнение метода Лагранжа (определение элементов орбиты тела) и возможность его решения, исключительные случаи.
- 2) Ограниченная задача 3-х тел. Интеграл Якоби.

Билет ♦ 19

- 1) Метод Гаусса вычисления отношения площади сектора к площади треугольника.
- 2) Малые знаменатели и резонансы.

Билет ♦ 20

- 1) Определение элементов орбиты тела по его координатам на два момента.
- 2) Метод вариации произвольной постоянной. Общая схема.

Билет ♦ 21

- 1) Метод Лапласа определение координат тела по трём наблюдениям.
- 2) Устойчивость и эволюция Солнечной системы.

Билет ♦ 22

- 1) Принцип улучшения орбит тел.
- 2) Канонические уравнения. Понятие интегрируемости.

Билет ♦ 23

- 1) Определение орбит ИСЗ способом двойной  $g$ -итерации Эскобала.
- 2) Краткая характеристика теории движения больших планет, астероидов, Луны, спутников планет и комет.

Билет ♦ 24

- 1) Оскулирующие элементы. Основная операция.
- 2) Ограниченная задача 3-х тел. Вывод уравнения задачи в синодической системе координат.

Билет ♦ 25

- 1) Улучшение орбит тел по многим наблюдениям (принцип).
- 2) Ограниченная задача 3-х тел. Постановка задачи. Уравнения движения в абсолютных координатах.

### 7.1. Основная литература:

Кононович, Эдвард Владимирович. Общий курс астрономии : учебник для студентов университетов : учебное пособие для университетов различного профиля / Э. В. Кононович, В. И. Мороз ; под ред. В.В. Иванова ; МГУ им. М. В. Ломоносова . Изд. 4-е . Москва : URSS : [Либроком, 2011] . 542 с.

Аносов, Дмитрий Викторович. От Ньютона к Кеплеру / Д. В. Аносов .? Москва : Изд-во МЦНМО, 2006 . 271, [1] с.

Белецкий, Владимир Васильевич. Очерки о движении космических тел / В. В. Белецкий .? Изд. 3-е, испр. и доп. ? Москва : URSS : [ЛКИ, 2009] . 426 с.

Ишмухаметова, М.Г. Решение задач по небесной механике и астродинамике / М.Г.Ишмухаметова, Е.Д.Кондратьева // Учебно-методическое пособие. - Физический факультет КГУ. - Казань, 2008. - 40 с. (электронное издание), <http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/otdelenie-astrofiziki-i-kosmicheskoy-geodezii/uchebnaya-rabota/spis>

## 7.2. Дополнительная литература:

Дубошин, Георгий Николаевич. Небесная механика : основные задачи и методы : учебник для студентов / Г. Н. Дубошин .? Издание 3-е, дополненное .? Москва : Наука, 1975 .? 800 с. : ил.

Справочное руководство по небесной механике и астродинамике / В. К. Абалакин и др. ; Под ред. Г. Н. Дубошина .? Издание 2-е, дополненное и переработанное .? Москва : Наука, 1976 .? 864 с. : ил., табл.

М.Г.Ишмухметова, Е.Д.Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 1. Методическое пособие. КГУ. 2001. (15 экз.).

М.Г.Ишмухметова. Методы астродинамики. Часть 2. Методическое пособие. КГУ. 2003.(15 экз.).

## 7.3. Интернет-ресурсы:

Астро - архив ПРАО АКЦ ФИАН - <http://astro-archive.prao.ru/books/books.php>

Движение планет (3D-анимация) - <http://www.space.utema.ru?>

Единая коллекция Цифровых Образовательных Ресурсов - [school-collection.edu.ru?catalog/search](http://school-collection.edu.ru?catalog/search)

Российское образование. Федеральный образовательный портал - <http://www.edu.ru/>

Электронная научная библиотека - <http://nehudlit.ru/books/subcat348.html>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Небесная механика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

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

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

- студенты имеют возможность получать доступ к электронным ресурсам сети Интернет через аудитории для самостоятельной работы и с личных мобильных устройств через WiFi-станцию;
- для поддержки мультимедиа-презентаций во время лекционных занятий используются следующие программные продукты: Mircsft Pwer Pint в составе Mircsft Office 2007 (2 академические лицензии), OpenOffice.org 3.0 Impress (открытая лицензия GPL), Adbe Reader 9 (предоставлено физическим факультетом для 20 рабочих мест на условиях академической лицензии Mircsft);
- стационарное и переносное демонстрационное оборудование (мультимедийные проекторы, ноутбуки)
- наглядные пособия в виде макетов, глобусов небесных тел.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по специальности: 011501.65 "Астрономия" и специализации не предусмотрено.

Автор(ы):

Соколова М.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Загретдинов Р.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.