

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



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по образовательной деятельности КФУ
Проф. Д.А. Гаюрский

» _____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины
Небесная механика Б1.В.ОД.15

Направление подготовки: 21.03.03 - Геодезия и дистанционное зондирование

Профиль подготовки: Космическая геодезия и навигация

Квалификация выпускника: бакалавр

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 61719

Казань
2019

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 "Б1.В.ОД.15 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование и относится к обязательным дисциплинам. Осваивается на 3 курсе, 5 семестр.

Данная учебная дисциплина входит в раздел "Б.3. Профессиональный цикл. Вариативная часть" ФГОС ВПО по направлению подготовки "Геодезия и дистанционное зондирование". Дисциплина должна изучаться после освоения дисциплин "Математика", "Физика", "Информатика", "Общая астрономия", "Геодезическая астрономия". Изучение дисциплины предшествует изучению дисциплин таких как "Космическая геодезия", "Космическая навигация", "Астрометрия".

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью к выполнению приближенных астрономических определений, топографо-геодезических, аэрофотосъемочных, фотограмметрических, гравиметрических работ для обеспечения картографирования территории Российской Федерации в целом или отдельных ее регионов и участков
ПК-11 (профессиональные компетенции)	способностью к созданию цифровых моделей местности и других объектов, в том числе по результатам наземной фотограмметрической съемке и лазерному сканированию и к активному использованию инфраструктуры геопространственных данных
ПК-25 (профессиональные компетенции)	способностью к изучению физических полей Земли и планет
ПК-26 (профессиональные компетенции)	готовностью к исследованию новых геодезических, фотограмметрических приборов и систем, аппаратуры для аэрокосмических съемок

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; основные возмущения в движении планет, спутников и ИСЗ и способы их определения

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 6 зачетных(ые) единиц(ы) 216 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	2	2	0	Устный опрос Письменное домашнее задание
2.	Тема 2. Задача двух тел. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.	5	2-6	8	6	0	Письменное домашнее задание 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	4-9	8	8	0	Контрольная работа Письменное домашнее задание
4.	Тема 4. Эфемерида небесного тела и ее определение.	5	6-12	6	6	0	Устный опрос Компьютерная программа
5.	Тема 5. Постановка задачи и методы определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.	5	7-16	10	10	0	Письменное домашнее задание Устный опрос Компьютерная программа
6.	Тема 6. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.	5	9	2	0	0	Письменное домашнее задание
7.	Тема 7. Понятие возмущаемого движения. Задачи N - тел в небесной механике.	5	10-12	6	2	0	Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Метод вариации произвольной постоянной. Общая схема метода.	5	12-14	4	0	0	
9.	Тема 9. Канонические уравнения в небесной механике и понятие их интегрируемости.	5	15-16	4	0	0	Письменное домашнее задание
10.	Тема 10. Ограниченная задача трех тел.	5	17-18	4	2	0	Презентация
	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	Экзамен
	Итого			54	36	0	

4.2 Содержание дисциплины

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

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Исторический очерк развития небесной механики как науки. Основные этапы и достижения. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники. Постановка задачи и дифференциальные уравнения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Решение задач по теории ньютоновского потенциала, система единиц измерения в небесной механике, постоянная Гаусса

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

лекционное занятие (8 часа(ов)):

Первые интегралы дифференциальных уравнений движения. Интегралы площадей, энергии, Лапласа и их следствия. Первые интегралы в скалярном и векторном видах, в полярных координатах. Математический вывод законов Кеплера задачи двух тел.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Решение задач на применение первых интегралов задачи двух тел

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

лекционное занятие (8 часа(ов)):

Типы невозмущенного движения (эллиптическое, параболическое, гиперболическое, круговое, прямолинейное). Астрономический смысл постоянных интегрирования, кеплеровские элементы орбиты, пределы их изменения. Уравнение траектории движения небесного тела. Уравнение Кеплера для кругового, эллиптического, параболического и гиперболического движений и способы его решения.

практическое занятие (8 часа(ов)):

Уравнение траектории движения небесного тела. Основные формулы кругового, эллиптического, параболического и гиперболического движений. Задача определения времени перелета спутника по орбите

Тема 4. Эфемерида небесного тела и ее определение.

лекционное занятие (6 часа(ов)):

Эфемерида небесного тела. Вычисление прямоугольных гелиоцентрических и геоцентрических координат. Переход к экваториальным и эклиптическим гелио- и гео-центрическим координатам. Назначение эфемериды и ее точность. Трасса спутника, задачи перехвата и перелета, траектории Гомена. Продолжительность перелета, теорема Ламберта.

практическое занятие (6 часа(ов)):

Вычисление прямоугольных гелиоцентрических и геоцентрических координат. Переход к экваториальным и эклиптическим гелио- и гео-центрическим координатам (Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Решение задач по небесной механике и астродинамике. (Электронное издание).- Казань, 2009, 37 с. <http://ksu.ru/f6/k8/index.php>) Тема 9-10; (М.Г.Ишмухметова, Е.Д.Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 1. Методическое пособие. КГУ. 2001). Тема 1-2.

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

лекционное занятие (10 часа(ов)):

Постановка задачи определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений. Методы Лагранжа, Гаусса, Лапласа, Эскобала, Бейккера, по трем угловым наблюдениям, по смешанным данным. Определение приближенной невозмущенной орбиты по двум наблюдениям.

практическое занятие (10 часа(ов)):

Определение орбиты одним из заданных методом по исходным данным с написанием компьютерной программы (язык программирования по выбору студента). (М.Г.Ишмухметова, Е.Д.Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 1. Методическое пособие. КГУ. 2001). Тема 3-6; Соколова М.Г., Усанин В.С. Определение орбит в рамках задачи двух тел.

Учебно-методическое пособие. Казань: Казан. ун-т, 2015. ? 30 с. URL:

<http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/34800>

Тема 6. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит, Дифференциальный способ улучшения орбит. Разложение координат в ряды по степеням времени, эксцентрической и средней аномалий. Решение дифференциальных уравнений методом численного интегрирования.

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

лекционное занятие (6 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.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Общая характеристика теорий движения планет, основные возмущения их орбит

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

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Оскулирующие элементы. Основная операция. Вывод уравнений Эйлера (Ньютона). Способ вариации элементов орбит. Дифференциальный способ улучшения орбит. Разложение координат в ряды по степеням времени, эксцентрической и средней аномалий.

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

лекционное занятие (4 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.

Тема 10. Ограниченная задача трех тел.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Постановки задачи. Уравнение движения в абсолютных координатах. Вывод уравнений в синодической системе координат. Уравнение ИСЗ в центральном поле тяготения с учетом сопротивления атмосферы.

практическое занятие (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	4	письменное домашнее задание
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
2.	Тема 2. Задача двух тел. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.	5	2-6	подготовка домашнего задания	8	письменное домашнее задание
				подготовка к устному опросу	2	устный опрос
3.	Тема 3. Типы невозмущенного движения спутника. Уравнение траектории движения небесного тела.	5	4-9	подготовка домашнего задания	10	письменное домашнее задание
				подготовка к контрольной работе	5	контрольная работа

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
4.	Тема 4. Эфемерида небесного тела и ее определение.	5	6-12		8	компьютерная программа
				подготовка домашнего задания	8	домашнее задание
				подготовка к устному опросу	4	устный опрос
5.	Тема 5. Постановка задачи и методы определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.	5	7-16		9	компьютерная программа
				подготовка домашнего задания	9	письменное домашнее задание
				подготовка к устному опросу	4	устный опрос
10.	Тема 10. Ограниченная задача трех тел.	5	17-18	подготовка к презентации	8	презентация
	Итого				81	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Используются такие интерактивные формы обучения как обсуждение теоретических вопросов, подготовка и представление докладов, проведение устных опросов и тестирование, применение роли экспертов для студентов при проверке заданий, выполненных другими студентами.

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.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Решение задач по теории ньютоновского потенциала, система единиц измерения в небесной механике, постоянная Гаусса (Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Решение задач по небесной механике и астродинамике. (Электронное издание).- Казань, 2009, 37 с. <http://ksu.ru/f6/k8/index.php>). Тема 1-2.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Задача двух тел: общая постановка 2. Задача двух тел: основные уравнения абсолютного движения спутника 3. Задача двух тел: основные уравнения относительного движения спутника 4. Уравнение движения в случае не притягивающего 5. Уравнение движения в случае притягивающего ИСЗ 6. Понятие материальной точки 7. Универсальность гравитационных сил 8. Способы упрощения уравнения движения спутника в задачи двух тел. 9. Связь гравитационной постоянной и постоянной Гаусса 10. Какие параметры определяют гравитационных параметр в задаче двух тел

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

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Решение задач на применение первых интегралов задачи двух тел (Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Решение задач по небесной механике и астродинамике. (Электронное издание).- Казань, 2009, 37 с. <http://ksu.ru/f6/k8/index.php>). Тема 3-5.

устный опрос , примерные вопросы:

1. Интеграл площадей (векторная, координатная и полярная форма записи) 2. Следствия интеграла площадей 3. Интеграл движения и его следствия. 4. Интегралы Лапласа. Направление векторов площади и Лапласа относительно плоскости орбиты спутника 5. Связь элементов орбиты и постоянных интегрирования уравнений движения спутника. 6. Элементы ориентирования орбиты спутника в пространстве 7. Связь между постоянной энергии и формой орбиты 8. Понятие первой, второй, третьей космической скорости нулевого спутника 9. Компоненты скорости спутника и их значений в точках перигелия и афелия орбиты 10 правило рычага относительно скорости спутника

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

контрольная работа , примерные вопросы:

Тема "Нахождение параметров движения спутников в невозмущенном движении в задаче двух тел". Контрольная работа включает три задачи: определение элементов орбиты спутника в плоской задаче; применение законов Кеплера; определение параметров движения спутника на основе решения уравнения Кеплера.

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Уравнение траектории движения небесного тела. Основные формулы кругового, эллиптического, параболического и гиперболического движений. Задача определения времени перелета спутника по орбите (Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Решение задач по небесной механике и астродинамике. (Электронное издание).- Казань, 2009, 37 с. <http://ksu.ru/f6/k8/index.php>). Тема 6-8.

Тема 4. Эфемерида небесного тела и ее определение.

домашнее задание , примерные вопросы:

Вычисление прямоугольных гелиоцентрических и геоцентрических координат. Переход к экваториальным и эклиптическим гелио- и гео-центрическим координатам (Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Решение задач по небесной механике и астродинамике. (Электронное издание).- Казань, 2009, 37 с. <http://ksu.ru/f6/k8/index.php>) Тема 9-10; (М.Г.Ишмухметова, Е.Д.Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 1. Методическое пособие. КГУ. 2001). Тема 1-2.

компьютерная программа , примерные вопросы:

Для решения задачи необходимо составить компьютерную программу вычисления эфемериды спутника на три заданных момента времени (исходные данные предоставляются преподавателем, язык программирования - по выбору студента)

устный опрос , примерные вопросы:

При сдаче домашнего задания студент объясняет основные этапы вычисления эфемериды спутника в рамках задачи двух тел

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

компьютерная программа , примерные вопросы:

Для решения задачи необходимо составить компьютерную программу вычисления орбиты спутника одним из методов определения орбит (исходные данные предоставляются преподавателем, язык программирования - по выбору студента)

письменное домашнее задание , примерные вопросы:

Определение орбиты одним из заданных методом по исходным данным с написанием компьютерной программы (язык программирования по выбору студента). (М.Г.Ишмухметова, Е.Д.Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 1. Методическое пособие. КГУ. 2001). Тема 3-6; Соколова М.Г., Усанин В.С. Определение орбит в рамках задачи двух тел. Учебно-методическое пособие. Казань: Казан. ун-т, 2015. ? 30 с. URI:

<http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/34800>

<http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/34800>

устный опрос , примерные вопросы:

При сдаче домашнего задания студент объясняет основные этапы вычисления орбиты спутника в рамках задачи двух тел

Тема 6. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.

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

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

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

Тема 10. Ограниченная задача трех тел.

презентация, примерные вопросы:

Темы докладов: особенности движения тел Солнечной системы различных классов (планет, спутников, астероидов, комет, метеороидов, КА); космические миссии КА (их орбиты, программы, результаты)

Итоговая форма контроля

экзамен (в 5 семестре)

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 двум, трем наблюдениям спутника одним из предложенных методов

Примеры заданий на 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°.

Темы докладов: особенности движения тел Солнечной системы различных классов (планет, спутников, астероидов, комет, метеороидов, КА).

Вопросы к промежуточного контроля

1. Задача двух тел. общая постановка, основные уравнения движения.
2. Уравнение движения в случае не притягивающего и притягивающего ИСЗ.
3. Первые интегралы задачи 2-х тел. Движение ИСЗ происходит в плоскости, проходящей через притягивающий центр.
4. Интеграл площадей. Три формы интеграла площадей (векторная, координатная и полярная)
5. Задача 2-х тел. Интеграл движения.
6. Задача 2-х тел. Интегралы Лапласа.
7. Астрономическая интерпретация постоянных интегрирования.
8. Задача n - тел. Интегралы уравнений. Результаты Брунса, Пуанкаре и Пенлеве.
9. Кеплеровские элементы орбиты, их назначение, границы изменения.
10. Движение солнечной системы относительно звёзд.
11. Законы Кеплера. Уравнение Кеплера.
12. Интеграл энергии и форма орбиты тела.
13. Истинная, эксцентрическая и средняя аномалия. Постоянная Гаусса.
14. Действия составляющих возмущающей силы (геометрическая интерпретация).
15. Вычисление r и v по элементам орбиты, плоская задача.
16. Понятие о возмущающей силе.
17. Вычисление прямоугольных координат тела в пространстве.
18. Переход от эклиптических гелиоцентрических к экваториальным гелиоцентрическим, экваториальным геоцентрическим и к экваториальным геоцентрическим сферическим координатам.
19. Эфемерида. Постановка задачи, основные уравнения.
20. Разложение координат в ряды по степеням времени.
21. Метод Лагранжа определение элементов орбиты тела. Постановка задачи, ход решения.
22. Задача n - тел. Первая форма уравнений относительного движения. Пертурбационная функция.
23. Основное уравнение метода Лагранжа (определение элементов орбиты тела) и возможность его решения, исключительные случаи.
24. Метод Гаусса вычисления отношения площади сектора к площади треугольника.
25. Определение элементов орбиты тела по его координатам на два момента.
26. Метод Лапласа определение координат тела по трём наблюдениям.
27. Принцип улучшения орбит тел.
28. Определение орбит ИСЗ способом двойной g -итерации Эскобала.

БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНУ

Билет ♦ 1

1) Задача двух тел. общая постановка, основные уравнения движения. Уравнение движения в случае не притягивающего и притягивающего ИСЗ.

2) Задача

Билет ♦ 2

1) Определение орбит ИСЗ способом двойной g -итерации Эскобала. Другие модификации прямых методов определения орбит

2) Задача

Билет ♦ 3

1) Принципы улучшения орбит тел по многим наблюдениям.

2) Задача

Билет ♦ 4

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

2) Задача

Билет ♦ 5

1) Метод Лапласа определение координат тела по трём наблюдениям.

2) Задача

Билет ♦ 6

1) Определение орбиты на один момент наблюдения.

2) Задача

Билет ♦ 7

1) Определение элементов орбиты тела по его координатам на два момента.

2) Задача

Билет ♦ 8

1) Задача 2-х тел. Интеграл движения. Три формы интеграла площадей (векторная, координатная и полярная)

2) Задача

Билет ♦ 9

1) Задача 2-х тел. Интегралы Лапласа. Уравнение орбиты спутника.

2) Задача

Билет ♦ 10

1) Метод Лагранжа определение элементов орбиты тела. Постановка задачи, ход решения. Основное уравнение метода Лагранжа (определение элементов орбиты тела) и возможность его решения, исключительные случаи.

2) Задача

Билет ♦ 11

1) Астрономическая интерпретация постоянных интегрирования. Кеплеровские элементы орбиты, их назначение, границы изменения.

2) Задача

Билет ♦ 12

1) Законы Кеплера. Постоянная Гаусса.

2) Задача

Билет ♦ 13

1) Переход от эклиптических гелиоцентрических к экваториальным гелиоцентрическим, экваториальным геоцентрическим и к экваториальным геоцентрическим сферическим координатам.

2) Задача

Билет ♦ 14

1) Вычисление прямоугольных координат тела в пространстве. Вычисление r и v по элементам орбиты, плоская задача.

2) Задача

Билет ♦ 15

1) Интеграл энергии и форма орбиты тела. Правило рычага.

2) Задача

Билет ♦ 16

1) Уравнение Кеплера. Истинная, эксцентрическая и средняя аномалия.

2) Задача

Билет ♦ 17

1) Эфемерида. Постановка задачи, основные уравнения. Вычисление прямоугольных координат тела в пространстве.

2) Задача

Билет ♦ 18

1) Движение ИСЗ: пассивный, активный спутник, семейство его орбит, понятие нулевого спутника и его скорость относительно планеты

2) Задача

Билет ♦ 19

1) Метод Гаусса: вычисления отношения площади сектора к площади треугольника и их применение при вычислении орбит по наблюдениям.

2) Задача

Билет ♦ 20

1) Вычисление r и v по элементам орбиты, плоская задача для различных форм орбиты. Задача определения времени перелета спутника по орбите

2) Задача

ЗАДАЧИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Высота ИСЗ в перигее составляет 783 км, а в апогее - 2200 км. Найдите параметры орбиты, минимальную и максимальную скорости ИСЗ, среднюю суточную скорость.

2. ИСЗ имеет максимальное расстояние от центра Земли 11000 км, а минимальное - 9500 км. Найдите время полета ИСЗ от перигея до апогея его орбиты, эксцентриситет орбиты и его минимальную скорость на орбите.

3. Меркурий имеет большую полуось орбиты 0,387 а.е. и афелийное расстояние 0,4 а.е. Найдите период его обращения, среднюю суточную скорость и максимальное удаление от Солнца

4. Спутник Венеры в некоторый момент имеет истинную аномалию $306,7^\circ$. Найдите скорость спутника в этот момент и его минимальное расстояние относительно планеты, если эксцентриситет его орбиты равен 0,2, а большая полуось 120100 км. Отношение масс Солнца и Венеры равно $407 \cdot 10^3$?

5. ИСЗ имеет максимальное расстояние от центра Земли 2000 км, а минимальное расстояние над поверхностью Земли - 1300 км. Найдите расстояние ИСЗ от центра Земли в момент, равный $\frac{1}{4}$ его периода.

6. Эксцентриситет орбиты спутника Сатурна составляет 0,350, а большая полуось - 20000 км. Найдите его максимальную и минимальную скорости, а также его минимальное и максимальное удаление от поверхности планеты. Отношение масс Солнца и Сатурна равно 3500, радиус планеты 60500 км.

7. Определите форму орбиты спутника Юпитера имеющего на расстоянии 1200 км от поверхности планеты скорость 15,4 км/с. Отношение масс Солнца и Юпитера равно 1047, радиус планеты 71370 км. Какие еще параметры можно определить для этой орбиты?

8. ИСЗ на геоцентрическом расстоянии 11000 км имел скорость 8,5 км/с. Найдите время полета ИСЗ от перигея до точки орбиты, истинная аномалия которой равна 2400, его минимальную и максимальную высоты. Эксцентриситет орбиты ИСЗ равен 0,25.

9. Определите значение скорости, которую необходимо сообщить спутнику на расстоянии 1500 км от поверхности Урана, чтобы его орбита была параболической относительно планеты. Отношение масс Солнца и Урана равно 22800, радиус планеты 24850 км.

10. ИСЗ в 11 часов на высоте 500 км имеет скорость 6 км/с. Найдите скорость ИСЗ через 10 часов. Эксцентриситет орбиты ИСЗ равен 0,2.
11. Определите период обращения нулевого спутника Марса, если радиус планеты 3407 км, а отношение масс Солнца и планеты равно $3090 \square 10^3$. Какую скорость необходимо сообщить нулевому спутнику Марса у поверхности планеты, чтобы он мог преодолеть притяжение планеты?
12. ИСЗ имеет максимальное расстояние от центра Земли 17000 км, а минимальное - 7900 км. В точке орбиты, истинная аномалия которой равна $132 \square$, ИСЗ будет переведен на другую орбиту. Найдите время полета ИСЗ от перигея орбиты до заданной точки орбиты и его скорость.
13. Если ИСЗ на высоте 310 км получит в направлении, перпендикулярном ее геоцентрическому радиусу-вектору, скорость 9,5 км/с, то апогей орбиты окажется на геоцентрическом расстоянии 30000 км. Какую скорость будет иметь ракета в апогее, чему равен эксцентриситет ее орбиты?
14. Период обращения ИСЗ составляет 752,77 мин. Определите характер орбиты ИСЗ. Какие еще параметры можно определить для этой орбиты?
15. ИСЗ в день запуска имеет в перигее высоту 500 км. Период обращения спутника вокруг Земли равен 22 ч 40 м. Найдите значение минимальной скорости ИСЗ на орбите и его максимальную высоту.
16. Спутник движется по орбите с эксцентриситетом 0,5. Найдите значение эксцентрической и средней аномалии в момент, когда истинная аномалия составляет 90°. Чему равно значение истинной аномалии, когда значение эксцентрической аномалии равно 90° ?
17. Период обращения спутника Нептуна равен 5,877 суток. Найдите размер орбиты Тритона и его среднее суточное движение относительно планеты. Отношение массы Солнца к массе планеты составляет 19500.
18. Период обращения спутника вокруг Сатурна равен 22 суток. Найдите его минимальную и параболическую скорости относительно Сатурна, если эксцентриситет орбиты 0,012. Отношение масс Солнца и планеты составляет 3500.
19. Определите значение скорости, которую необходимо сообщить спутнику на расстоянии 1000 км над поверхностью Земли, чтобы орбита ИСЗ стала параболической. Какая при этом будет его круговую скорость?
20. В точке орбиты, истинная аномалия которой равна $230 \square$, комета находится на расстоянии 5.3 а.е. от Солнца. Найдите период обращения кометы вокруг Солнца, ее максимальное и минимальное удаление от Солнца, если эксцентриситет орбиты составляет 0,6.
21. Среднее суточное движение малой планеты составляет $1000 \square$. Вычислите период обращения планеты вокруг Солнца и ее среднее расстояние от Солнца.
22. ИСЗ имеет орбиту с эксцентриситетом 0,5 и большую полуось 15000 км. В 12 часов истинная аномалия равна 300°. Найдите момент времени, когда спутник пройдет через перигей орбиты.
23. Космический зонд на геоцентрическом расстоянии 10000 км имел скорость 3 км/с. Какую скорость имел зонд на расстоянии 1230 км от поверхности Земли? Какую скорость надо передать зонду на этой высоте, чтобы его орбита стала параболической относительно Земли?
24. ИСЗ имеет максимальную высоту 900 км, минимальную - 500 км над поверхностью Земли. Найдите время перелета ИСЗ из точки орбиты с истинной аномалией $200 \square$ до точки орбиты с истинной аномалией $300 \square$.
25. ИСЗ движется по орбите с эксцентриситетом 0,4 и большой полуось, равной 25000 км. В 10 часов истинная аномалия спутника составит $20 \square$. Вычислите момент времени, когда впервые после указанного момента спутник окажется в апогее своей орбиты. Какую при этом будет иметь скорость?

26. Перигелийное и афелийное расстояние орбиты кометы соответственно равны 1,4 а.е. и 33,5 а.е. Определите, среднюю суточную скорость, период, размер и форму орбиты кометы относительно Солнца.
27. Орбита ИСЗ имела эксцентриситет 0,7, а период его обращения составлял 50000 с. Вычислите большую полуось, геоцентрическое расстояние в перигее и апогее, а также скорости в апогее и перигее.
28. Астероид движется по орбите с эксцентриситетом 0,7 и большой полуосью 1,1 а.е. Сколько времени занимает движение астероида от перигелия до афелия его орбиты, как близко он подходит к Солнцу, не пересекается ли его орбита с Землей?
29. Два последовательных возвращения к Солнцу кометы наблюдалось в 1889 и 2006 годах. Ее перигелийное расстояние составляло 1,10 а.е. Оцените афелийное расстояние кометы, ее среднюю суточную скорость и эксцентриситет орбиты.
30. ИСЗ прошел через перигей в момент 3h8m55s,58 UT. Период обращения спутника составлял 752,77m, эксцентриситет орбиты был равен 0,758. Укажите момент времени, когда эксцентрисическая аномалия спутника равнялась 144,90.
31. ИСЗ прошел через перигей в момент 17h. Период обращения спутника составлял 800, эксцентриситет орбиты был равен 0,8. Вычислите эксцентрисическую аномалию, истинную, среднюю аномалию и высоту спутника по истечении $\frac{1}{4}$ периода обращения после момента прохождения спутника через перигей.

7.1. Основная литература:

- Чаругин В.М. Классическая астрономия. М: Издательство 'Прометей', 2013. 214 с. (<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=536501>)
- Бережной А.А., Бусарев В.В. Ксанфомалити Л.В., Сурдин В.Г. Солнечная система. М: Физматлит, 2017. 460 с. (<http://e.lanbook.com/book/105010>)
- Соколова М.Г., Усанин В.С. Практикум по небесной механике. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2016. 40 с. (http://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/34800/06-lph_001226.pdf)

7.2. Дополнительная литература:

- Маров М.Я. Космос: От Солнечной системы вглубь Вселенной. М: Физматлит, 2017. 536 с. (<http://e.lanbook.com/book/105003>)
- Данхэм Д.У., Назиров Р.Р. Фаркуар Р.У., Чумаченко Е.Н. Космические миссии и планетарная защита. М: Физматлит, 2013. 276 с. (<http://e.lanbook.com/book/91180>)
- 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>
- М.Г.Ишмухметова, Е.Д.Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 1. Методическое пособие. КГУ. 2001. (фонды кафедры астрономии и космической геодезии, 15 экз.).
- М.Г.Ишмухметова. Методы астродинамики. Часть 2. Методическое пособие. КГУ. 2003.(фонды кафедры астрономии и космической геодезии, 15 экз.).

7.3. Интернет-ресурсы:

- <http://astro-archive.prao.ru/books/books.php> - <http://www.edu.ru/>

View the NASA Portal Near-Earth Object (NEO) Program - - <http://ssd.jpl.nasa.gov>

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

Интегральный каталог ресурсов Федерального портала ?Российское образование - - <http://www.ido.edu.ru/ffec/econ-index.html>

Электронные книги категории Небесная механика - <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 в 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 направлению 21.03.03 "Геодезия и дистанционное зондирование" и профилю подготовки Космическая геодезия и навигация .

Автор(ы):

Соколова М.Г. _____

"__" _____ 201__ г.

Рецензент(ы):

Загретдинов Р.В. _____

"__" _____ 201__ г.