

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. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Небесная механика Б3.В.2

Направление подготовки: 120100.62 - 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

Казань  
2014

## 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 " Б3.В.2 Профессиональный" основной образовательной программы 120100.62 Геодезия и дистанционное зондирование и относится к вариативной части. 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
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК-3 (профессиональные компетенции)	способность работать с информацией компьютерных сетей
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность к выполнению топографо-геодезических, аэрофотосъемочных, фотограмметрических, гравиметрических работ и астрономических наблюдений для обеспечения картографирования территории Российской Федерации в целом или отдельных ее регионов и участков
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способность осуществлять основные технологические процессы получения наземной и аэрокосмической пространственной информации о состоянии окружающей среды, использовать материалы дистанционного зондирования и геоинформационные технологии при моделировании и интерпретации результатов изучения природных ресурсов

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способность выполнять комплекс работ по дешифрованию видеоинформации, аэрокосмических и наземных снимков, по созданию и обновлению топографических карт по воздушным, космическим и наземным снимкам фотограмметрическими методами
ПК- 24 (профессиональные компетенции)	способность к разработке современных методов, технологий и методик проведения геодезических, топографо-геодезических, фотограмметрических и аэрофотосъемочных работ

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 5 зачетных(ые) единиц(ы) 180 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.	5	1	2	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники.	5	2	2	0	2	устный опрос
3.	Тема 3. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.	5	3-4	4	0	4	домашнее задание
4.	Тема 4. Типы невозмущенного движения спутника	5	5	2	0	4	домашнее задание
5.	Тема 5. Уравнение траектории движения небесного тела.	5	6	2	0	6	контрольная работа
6.	Тема 6. Эфемерида небесного тела.	5	7-8	4	0	6	домашнее задание
7.	Тема 7. Постановка задачи определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.	5	9-12	8	0	6	домашнее задание
8.	Тема 8. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.	5	13-14	4	0	0	
9.	Тема 9. Основы астродинамики.	5	15-16	4	0	6	домашнее задание
10.	Тема 10. Понятие возмущаемого движения.	5	17-18	4	0	2	презентация
	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	экзамен
	Итого			36	0	36	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Предмет и задачи небесной механики.

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Исторический очерк развития небесной механики как науки. Основные этапы и достижения.

##### Тема 2. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники.

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Постановка задачи и дифференциальные уравнения. Система единиц измерения в небесной механике, постоянная Гаусса.

###### *лабораторная работа (2 часа(ов)):*

Решение задач по определению гравитационных параметров центральных тел.

##### Тема 3. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Интегралы площадей в скалярном и векторном видах, в полярных координатах, их следствия

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Интегралы энергии и Лапласа. Законы Кеплера.

**Тема 4. Типы невозмущенного движения спутника**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Эллиптическое, параболическое, гиперболическое, круговое, прямолинейное.

Астрономический смысл постоянных интегрирования, кеплеровские элементы орбиты, пределы их изменения

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Решение задач на определение кеплеровских элементов орбит, скорости спутника и ее компонент.

**Тема 5. Уравнение траектории движения небесного тела.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Уравнение Кеплера и способы его решения. Основные формулы кругового, эллиптического, параболического и гиперболического движений

**лабораторная работа (6 часа(ов)):**

Решение уравнения Кеплера, задача определения времени перелета по орбите

**Тема 6. Эфемерида небесного тела.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

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

**лабораторная работа (6 часа(ов)):**

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

**Тема 7. Постановка задачи определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.**

**лекционное занятие (8 часа(ов)):**

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

**лабораторная работа (6 часа(ов)):**

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

**Тема 8. 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, эксцентрисической и средней аномалий.

**Тема 9. Основы астродинамики.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Невозмущенное движение космических аппаратов и ИСЗ. Трасса спутника, задачи перехвата и перелета, траектории Гомана.

**лабораторная работа (6 часа(ов)):**

Определение продолжительности перелета спутника по орбите по теореме Ламберта.

**Тема 10. Понятие возмущаемого движения.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Возмущающая сила. Действие составляющей возмущающей силы. Задачи N тел в небесной механике.

**лабораторная работа (2 часа(ов)):**

Характеристика теорий движения планет, спутников, астероидов, комет, Луны, 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
2.	Тема 2. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники.	5	2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
3.	Тема 3. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.	5	3-4	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
4.	Тема 4. Типы невозмущенного движения спутника	5	5	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
5.	Тема 5. Уравнение траектории движения небесного тела.	5	6	подготовка к контрольной работе	8	контрольная работа
6.	Тема 6. Эфемерида небесного тела.	5	7-8	подготовка домашнего задания	16	домашнее задание
7.	Тема 7. Постановка задачи определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.	5	9-12	подготовка домашнего задания	20	домашнее задание
9.	Тема 9. Основы астродинамики.	5	15-16	подготовка домашнего задания	10	домашнее задание
10.	Тема 10. Понятие возмущаемого движения.	5	17-18	подготовка к презентации	8	презентация
	Итого				72	

### 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.**

**Тема 2. Задача двух тел. Притягивающий и непритягивающий спутники.**

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.

### **Тема 3. Первые интегралы дифференциальных уравнений движения.**

домашнее задание , примерные вопросы:

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>

Тема 2-4 - решение задач.

### **Тема 4. Типы невозмущенного движения спутника**

домашнее задание , примерные вопросы:

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>

Тема 5-8 - решение задач.

### **Тема 5. Уравнение траектории движения небесного тела.**

контрольная работа , примерные вопросы:

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>

Темы 2-8 -решение задач.

### **Тема 6. Эфемерида небесного тела.**

домашнее задание , примерные вопросы:

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>

Темы 9. Вычисление эфемерида спутника на заданные моменты времени (индивидуально по вариантам)

### **Тема 7. Постановка задачи определения элементов невозмущенной орбиты из наблюдений.**

домашнее задание , примерные вопросы:

М.Г.Ишмухметова, Е.Д.Кондратьева. Методы астродинамики. Часть 1. Методическое пособие. КГУ. 2001. 24 с. Определение орбиты тела одним из заданных методов (индивидуально по вариантам)

### **Тема 8. Принципы и основные этапы улучшения невозмущенных орбит.**

### **Тема 9. Основы астродинамики.**

домашнее задание , примерные вопросы:

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>

Тема 10 - решение задач на определение продолжительности перелета спутника по орбите по теореме Ламберта.

### **Тема 10. Понятие возмущаемого движения.**

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)

### **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 методом.
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 методом

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>

### 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°.

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  $r$ -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  $r$ -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 спутник 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  $1/4$  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  $3090 \cdot 10^3$ . 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  $132^\circ$ , 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  $230^\circ$ , 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  $1000^\circ$ . 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  $200^\circ$  до точки орбиты с истинной аномалией  $300^\circ$ .
25. ИСЗ движется по орбите с эксцентриситетом 0,4 и большой полуось, равной 25000 км. В 10 часов истинная аномалия спутника составит  $20^\circ$ . 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 752,777м, эксцентриситет орбиты был равен 0,758. Укажите момент времени, когда эксцентрическая 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 эксцентрическую аномалию, истинную, среднюю аномалию и высоту спутника по истечении  $\frac{1}{4}$  периода обращения после момента прохождения спутника через перигей.

### 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:

ЭОР - <http://www.edu.ru/>

ЭОР - <http://soip-catalog.informika.ru/>

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

ЭОР - <http://nehudlit.ru/books/subcat348.html>

ЭОР - <http://www.ido.edu.ru/ffec/econ-index.html>

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

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

- 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: Microsoft Power Point в составе Microsoft Office 2007 (2 академические лицензии), OpenOffice.org 3.0 Impress (открытая лицензия GPL), Adobe Reader 9 (предоставлено физическим факультетом для 20 рабочих мест на условиях академической лицензии Microsoft);
- 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 120100.62 "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.