

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. Таюрский Д.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

**Программа дисциплины**  
Теоретическая механика Б3.Б.2

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика ионосферы и распространения радиоволн, радиоастрономия

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Соловьев О.В.

**Рецензент(ы):**

Прошин Ю.Н.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.

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

Учебно-методическая комиссия Института физики:

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

Регистрационный No 6106417

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. Соловьев О.В. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Oleg.Solovyev@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Теоретическая механика" являются изучение основных понятий, законов, моделей и уравнений движения теоретической механики.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.Б.2 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 2 курсе, 4 семестр.

Дисциплина (Б3.Б.2) входит в базовую часть профессионального цикла (Б.3). Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: математический анализ, дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление, теория функций комплексного переменного, векторный и тензорный анализ, механика. Является базовой дисциплиной для изучения других курсов теоретической физики (электродинамика, квантовая механика, статистическая физика и термодинамика). Освоение дисциплины будет способствовать успешной профессиональной деятельности, позволит в дальнейшем изучать курсы общенаучного и профессионального циклов основной образовательной программы бакалавриата и магистратуры.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-10 (общекультурные компетенции)	способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии
ОК-12 (общекультурные компетенции)	способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии
ОК-14 (общекультурные компетенции)	способность к овладению базовыми знаниями в области информатики и современных информационных технологий, программными средствами и навыками работы в компьютерных сетях, использованию баз данных и ресурсов Интернет
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике базовые профессиональные навыки

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

Знать: основные понятия, законы и модели классической механики; иметь представление о современном состоянии этого раздела теоретической физики

2. должен уметь:

Уметь: понимать, излагать и критически анализировать базовую общезначимую информацию; использовать математический аппарат для освоения основ теоретической механики, записывать основные уравнения движения простейших механических систем

3. должен владеть:

Владеть: навыками решения простейших задач о движении механических систем, нахождении законов движения и вычисления траекторий.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Демонстрировать способность и готовность к дальнейшему обучению

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 4 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 классической механики. Пространство и время. Кинематика точки. Криволинейные координаты. Естественные координаты.	4	1	2	2	0	Письменное домашнее задание

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. Понятие о силе и массе. Понятие об инерциальной системе отсчета. Законы Ньютона. Принцип относительности Галилея. Начальные условия и принцип причинности в классической механике.	4	2	2	0	0	
3.	Тема 3. Работа силы. Классификация сил в классической механике. Законы изменения и сохранения энергии материальной точки. Интегралы движения.	4	3	2	0	0	
4.	Тема 4. Интегрирование уравнений движения в случаях частных видов сил.	4	4	2	2	0	Письменное домашнее задание
5.	Тема 5. Законы изменения и сохранения импульса и момента импульса материальной точки. Движение под действием центрально-симметричной силы.	4	5	2	0	0	
6.	Тема 6. Задача Кеплера.	4	6	2	2	0	Письменное домашнее задание
7.	Тема 7. Законы изменения и сохранения импульса, момента импульса и энергии системы материальных точек. Задача двух тел.	4	7	2	2	0	Письменное домашнее задание
8.	Тема 8. Контрольная работа ♦1 по темам 1-7	4	8	0	2	0	Контрольная работа

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
9.	Тема 9. Понятие о связях. Действительные, возможные и виртуальные перемещения. Идеальные связи.	4	8	2	0	0	
10.	Тема 10. Уравнения Лагранжа 1-го рода.	4	9	2	2	0	Письменное домашнее задание
11.	Тема 11. Понятие об обобщенных координатах. Уравнения Лагранжа 2-го рода. Функция Лагранжа.	4	10	2	2	0	Письменное домашнее задание
12.	Тема 12. Структура уравнений Лагранжа 2-го рода. Законы изменения и сохранения обобщенного импульса и обобщенной энергии.	4	11	2	0	0	
13.	Тема 13. Малые колебания механических систем с одной степенью свободы под действием потенциальных, диссипативных и вынуждающих сил.	4	12	2	2	0	Письменное домашнее задание
14.	Тема 14. Малые колебания механических систем со многими степенями свободы под действием потенциальных сил.	4	13	2	2	0	Письменное домашнее задание
15.	Тема 15. Действие. Принцип наименьшего действия. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона.	4	14	2	2	0	Письменное домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
16.	Тема 16. Скобки Пуассона. Действие как функция координат и времени. Принцип наименьшего действия в расширенном фазовом пространстве.	4	15	2	2	0	Письменное домашнее задание
17.	Тема 17. Канонические преобразования.	4	16	2	0	0	
18.	Тема 18. Уравнение Гамильтона-Якоби. Метод разделения переменных.	4	17	2	0	0	
19.	Тема 19. Теорема Лиувилля.	4	18	2	0	0	
20.	Тема 20. Контрольная работа ♦2 по темам 9-19	4	18	0	2	0	Контрольная работа
	Тема . Итоговая форма контроля	4		0	0	0	Экзамен
	Итого			36	24	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Предмет классической механики. Пространство и время. Кинематика точки. Криволинейные координаты. Естественные координаты.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Предмет теоретической механики. Пространство и время, их свойства. Кинематика: основные понятия, основные величины в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Естественные координаты, нормальное и тангенциальное ускорение.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Вывод выражений для скорости в цилиндрической и сферической системах координат. Свойства производных по времени от ортов криволинейных координат.

**Тема 2. Понятие о силе и массе. Понятие об инерциальной системе отсчета. Законы Ньютона. Принцип относительности Галилея. Начальные условия и принцип причинности в классической механике.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Понятие о силе и массе, примеры сил в механике. Эквивалентность гравитационной и инертной массы. Понятие об инерциальной системе отсчета. Теоремы об инерциальных системах отсчета, преобразование Галилея. Динамика: основная задача динамики, законы Ньютона, принцип относительности Галилея. Начальные условия и принцип причинности в классической механике.

**Тема 3. Работа силы. Классификация сил в классической механике. Законы изменения и сохранения энергии материальной точки. Интегралы движения.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Работа силы, мощность силы. Классификация сил в классической механике: стационарные потенциальные, нестационарные потенциальные, гироскопические, диссипативные силы. Механическая энергия материальной точки. Законы изменения и сохранения энергии материальной точки. Понятия первого и второго интегралов движения.

#### **Тема 4. Интегрирование уравнений движения в случаях частных видов сил.**

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

Некоторые частные случаи одномерного движения. Случай силы, зависящей от скорости. Одномерное движение в потенциальном поле: точки остановки, финитное и инфинитное движение, нахождение периода финитного движения.

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

Интегрирование уравнений движения в случаях частных видов сил: гармонический осциллятор, движение в средах с трением, движение в поле тяжести, движение заряженной частицы в однородном магнитном поле и в скрещенных однородных электрическом и магнитном полях, пространственный осциллятор.

#### **Тема 5. Законы изменения и сохранения импульса и момента импульса материальной точки. Движение под действием центрально-симметричной силы.**

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

Законы изменения и сохранения импульса и момента импульса материальной точки. Центральная сила: определение, основные свойства движения в под действием центральной силы (плоское движение, постоянство секторной скорости, монотонность изменения полярного угла). Центрально-симметричная сила: определение, свойства движения под действием центрально-симметричной силы, первые и вторые интегралы движения, закон движения, уравнение траектории.

#### **Тема 6. Задача Кеплера.**

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

Задача Кеплера, случай притяжения: уравнения всех типов траектории, перигелий, параметр орбиты, эксцентриситет, закон движения для всех типов траектории, третий закон Кеплера. Задача Кеплера, случай отталкивания: уравнение траектории, закон движения.

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

Вывод условия падения материальной точки на силовой центр. Решение задачи о нахождении типа траектории материальной точки в поле силы тяжести в зависимости от начальных условий.

#### **Тема 7. Законы изменения и сохранения импульса, момента импульса и энергии системы материальных точек. Задача двух тел.**

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

Законы изменения и сохранения импульса, момента импульса и энергии системы материальных точек. Задача двух тел: задача о движении центра масс, задача о движении фиктивной частицы, траектории и закон движения реальных частиц.

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

Запись законов сохранения в задаче двух тел. Примеры задачи двух тел: движение системы Земля-Солнце, двойные звезды. Расчет поправки к третьему закону Кеплера.

#### **Тема 8. Контрольная работа ♦1 по темам 1-7**

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

Контрольная работа (примерные задачи см. в п. 6)

#### **Тема 9. Понятие о связях. Действительные, возможные и виртуальные перемещения. Идеальные связи.**

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

Понятие о связях, классификация связей. Удерживающие голономные связи. Стационарные и нестационарные связи. Основная задача динамики несвободной системы. Действительные, возможные и виртуальные перемещения и уравнения, которым они удовлетворяют. Понятие об идеальных связях, примеры идеальных связей.

#### **Тема 10. Уравнения Лагранжа 1-го рода.**



**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Уравнения Лагранжа 1 рода. Законы сохранения и изменения импульса, момента импульса и полной механической энергии несвободной системы материальных точек. Общее уравнение механики (уравнение д'Аламбера-Лагранжа).

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Общая схема решения задач с помощью уравнений Лагранжа 1 рода. Пример: расчет точки отрыва частицы при соскальзывании по параболе.

**Тема 11. Понятие об обобщенных координатах. Уравнения Лагранжа 2-го рода. Функция Лагранжа.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Понятие о независимых обобщенных координатах и числе степеней свободы. Уравнения Лагранжа 2 рода. Обобщенные силы. Функция Лагранжа. Циклические координаты. Доказательство того, что к функции Лагранжа можно прибавить полную производную любой функции обобщенных координат и времени.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Нахождение функции Лагранжа для механических систем. Примеры: гармонический осциллятор, движение в центральном поле, свободные частицы. Структура функции Лагранжа. Использование циклических переменных в формализме Лагранжа.

**Тема 12. Структура уравнений Лагранжа 2-го рода. Законы изменения и сохранения обобщенного импульса и обобщенной энергии.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Структура кинетической энергии в уравнениях Лагранжа 2 рода. Обобщенный импульс. Структура обобщенного импульса. Законы сохранения и изменения обобщенного импульса. Обобщенная энергия. Структура обобщенной энергии. Законы сохранения и изменения обобщенной энергии. Связь обобщенной энергии и полной механической энергии системы.

**Тема 13. Малые колебания механических систем с одной степенью свободы под действием потенциальных, диссипативных и вынуждающих сил.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Положение равновесия. Принцип виртуальных перемещений. Малые колебания системы с одной степенью свободы под действием потенциальных сил. Одномерные колебания при наличии трения: анализ различных случаев. Одномерные вынужденные колебания при наличии трения. Пример: вынуждающая сила, изменяющаяся по гармоническому закону; явление резонанса.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Задача: точка массой  $m$  может двигаться по кривой  $y=x^3$  под действием силы тяжести. Система координат  $x$  повернута на угол  $\alpha$  по часовой стрелке (т.е. угол между осью  $x$  и вертикалью равен  $\alpha$ ). Решить задачу о малых колебаниях точки.

**Тема 14. Малые колебания механических систем со многими степенями свободы под действием потенциальных сил.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Малые колебания системы со многими степенями свободы под действием потенциальных сил. Критерий устойчивости положения равновесия, собственные частоты, амплитуды колебаний, нормальные координаты.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение задачи о нахождении частоты и нормальных координат системы из трех одинаковых материальных точек на гладком стержне, связанных пружинами одинаковой жесткости.

**Тема 15. Действие. Принцип наименьшего действия. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Действие. Принцип наименьшего действия для системы с потенциальными силами и идеальными голономными связями. Его эквивалентность уравнениям Лагранжа 2 рода. Функция Гамильтона, закон изменения функции Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Переход от формализма Лагранжа к формализму Гамильтона и обратный переход.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Нахождение функции Гамильтона для механических систем. Примеры: гармонический осциллятор, движение в центральном поле, свободные частицы. Использование циклических координат в гамильтоновом формализме.

**Тема 16. Скобки Пуассона. Действие как функция координат и времени. Принцип наименьшего действия в расширенном фазовом пространстве.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Скобки Пуассона и их свойства. Фундаментальные скобки Пуассона. Закон изменения произвольной функции координат, импульсов и времени через скобки Пуассона. Теорема Пуассона. Действие как функция координат и времени. Принцип наименьшего действия в расширенном фазовом пространстве. Его эквивалентность уравнениям Гамильтона.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Расчет скобок Пуассона для компонент момента импульса.

**Тема 17. Канонические преобразования.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Канонические преобразования. Производящие функции канонических преобразований: различные варианты. Инвариантность скобок Пуассона при каноническом преобразовании. Необходимое и достаточное условие каноничности преобразования.

**Тема 18. Уравнение Гамильтона-Якоби. Метод разделения переменных.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Уравнение Гамильтона-Якоби. Теорема Якоби. Возможные упрощения уравнения Гамильтона-Якоби. Метод разделения переменных и его обоснование.

**Тема 19. Теорема Лиувилля.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Фазовое пространство. Теорема Лиувилля: формулировка и доказательство.

**Тема 20. Контрольная работа ♦2 по темам 9-19**

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Контрольная работа (примерные задачи см. в п. 6)

**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 классической механики. Пространство и время. Кинематика точки. Криволинейные координаты. Естественные координаты.	4	1	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
4.	Тема 4. Интегрирование уравнений движения в случаях частных видов сил.	4	4	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
6.	Тема 6. Задача Кеплера.	4	6	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
7.	Тема 7. Законы изменения и сохранения импульса, момента импульса и энергии системы материальных точек. Задача двух тел.	4	7	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
8.	Тема 8. Контрольная работа ♦1 по темам 1-7	4	8	подготовка к контрольной работе	4	контрольная работа
10.	Тема 10. Уравнения Лагранжа 1-го рода.	4	9	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
11.	Тема 11. Понятие об обобщенных координатах. Уравнения Лагранжа 2-го рода. Функция Лагранжа.	4	10	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
13.	Тема 13. Малые колебания механических систем с одной степенью свободы под действием потенциальных, диссипативных и вынуждающих сил.	4	12	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
14.	Тема 14. Малые колебания механических систем со многими степенями свободы под действием потенциальных сил.	4	13	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
15.	Тема 15. Действие. Принцип наименьшего действия. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона.	4	14	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
16.	Тема 16. Скобки Пуассона. Действие как функция координат и времени. Принцип наименьшего действия в расширенном фазовом пространстве.	4	15	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
20.	Тема 20. Контрольная работа ♦2 по темам 9-19	4	18	подготовка к контрольной работе	4	контрольная работа
	Итого				48	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Курсы лекций и практических занятий, организованные по стандартной технологии.

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

### Тема 1. Предмет классической механики. Пространство и время. Кинематика точки. Криволинейные координаты. Естественные координаты.

домашнее задание , примерные вопросы:

1. Математический маятник переменной длины колеблется в вертикальной плоскости по гармоническому закону. Найти зависимость от времени компонент скорости и ускорения и величины скорости точки А, если длина  $l$  части ОА нити уменьшается по линейному закону. 2. Частица движется в плоскости  $z = 0$  по гиперболе. Секторная скорость постоянна. Найти интервал времени, за который частица сместится из точки с координатой  $x_1$  в точку с координатой  $x_2$ .

### Тема 2. Понятие о силе и массе. Понятие об инерциальной системе отсчета. Законы Ньютона. Принцип относительности Галилея. Начальные условия и принцип причинности в классической механике.

### Тема 3. Работа силы. Классификация сил в классической механике. Законы изменения и сохранения энергии материальной точки. Интегралы движения.

### Тема 4. Интегрирование уравнений движения в случаях частных видов сил.

домашнее задание , примерные вопросы:

1. Математический маятник массы  $m$  отклоняется на угол  $f_0$  и отпускается без начальной скорости. Найти натяжение нити  $T$  в зависимости от угла  $f$ . 2. Парашютист прыгает с самолёта, летящего по горизонтали на высоте  $h$  со скоростью  $v_0$ . По какой траектории движется парашютист при затыжном прыжке (до раскрытия парашюта), если сила сопротивления воздуха  $F = -kv$ , где  $v$  - скорость парашютиста.

### Тема 5. Законы изменения и сохранения импульса и момента импульса материальной точки. Движение под действием центрально-симметричной силы.

### Тема 6. Задача Кеплера.

домашнее задание , примерные вопросы:

1. Задача о теле, брошенном с поверхности земли: нахождение дальности, высоты и времени полета. 2. Известны параметр и эксцентриситет орбиты тела, движущегося в поле тяготения Земли. Найти величину скорости тела, как функцию расстояния от центра Земли.

### Тема 7. Законы изменения и сохранения импульса, момента импульса и энергии системы материальных точек. Задача двух тел.

домашнее задание , примерные вопросы:

1. Две трети однородной цепочки длины  $l$  лежат на наклонной полочке, расположенной под углом  $\alpha$  к горизонту, а одна треть свободно свисает вдоль вертикали. В начальный момент цепь покоится, затем под действием постоянной силы тяжести начинает соскальзывать вниз по наклонной полочке. Найти скорость цепи в тот момент, когда вся цепочка окажется на полочке. Коэффициент трения между цепочкой и полочкой равен  $f$ . 2. Непосредственным вычислением показать, что средние за период значения кинетической и потенциальной энергии гармонического осциллятора равны. 3. Найти первую и вторую космические скорости для тела массы  $m$  с учетом конечности массы Земли. Масса Земли, радиус Земли и ускорение силы тяжести у поверхности Земли известны.

#### **Тема 8. Контрольная работа ♦1 по темам 1-7**

контрольная работа , примерные вопросы:

Решение задач контрольной работы (задачи см. внизу во вкладке "Прочее")

#### **Тема 9. Понятие о связях. Действительные, возможные и виртуальные перемещения. Идеальные связи.**

#### **Тема 10. Уравнения Лагранжа 1-го рода.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Расчет точки отрыва частицы при соскальзывании по сфере. Нахождение силы реакции сферы.

#### **Тема 11. Понятие об обобщенных координатах. Уравнения Лагранжа 2-го рода. Функция Лагранжа.**

домашнее задание , примерные вопросы:

1. Точка подвеса плоского маятника длиной  $l$  движется по оси  $x$  по заданному закону. Сколько степеней свободы у такой системы? Составить уравнение Лагранжа 2-го рода для угла  $\varphi$ . 2. Точка массы  $m$  движется в центральном поле. Составить функцию Лагранжа, в качестве обобщенных координат выбрав сферические координаты  $r$ ,  $\theta$  и  $\varphi$ . Выписать интеграл движения, соответствующий циклической координате. Выписать уравнение Лагранжа, соответствующее координате  $r$ .

#### **Тема 12. Структура уравнений Лагранжа 2-го рода. Законы изменения и сохранения обобщенного импульса и обобщенной энергии.**

#### **Тема 13. Малые колебания механических систем с одной степенью свободы под действием потенциальных, диссипативных и вынуждающих сил.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Между двумя неподвижными одинаковыми зарядами  $e$ , расстояние между которыми равно  $a$ , по прямой, соединяющей их, движется точка массой  $m$ , несущая такой же заряд  $e$ . Решить задачу о малых колебаниях точки.

#### **Тема 14. Малые колебания механических систем со многими степенями свободы под действием потенциальных сил.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Найти общее решение задачи о малых колебаниях частицы массы  $m$ , способной двигаться по поверхности, задаваемой уравнением вида  $z = \text{квадратичная форма координат } x \text{ и } y$  (ось  $z$  - вертикальна).

#### **Тема 15. Действие. Принцип наименьшего действия. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона.**

домашнее задание , примерные вопросы:

1. Формулировка правил перехода от функции Гамильтона к функции Лагранжа. 2. Нахождение функции Гамильтона для плоского маятника с переменной длиной. Запись уравнений Гамильтона.

#### **Тема 16. Скобки Пуассона. Действие как функция координат и времени. Принцип наименьшего действия в расширенном фазовом пространстве.**

домашнее задание , примерные вопросы:

1. Пользуясь только свойствами скобок Пуассона, вычислить  $\{p_1^2 + p_3^2 q_2, q_1^2 + p_2^2\}$ . 2. Доказать, что если функция Гамильтона зависит от пары координата-импульс только посредством некоторой функции от них, то эта функция является интегралом движения.

**Тема 17. Канонические преобразования.**

**Тема 18. Уравнение Гамильтона-Якоби. Метод разделения переменных.**

**Тема 19. Теорема Лиувилля.**

**Тема 20. Контрольная работа ♦2 по темам 9-19**

контрольная работа , примерные вопросы:

Решение задач контрольной работы (задачи см. внизу во вкладке "Прочее")

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Регламент балльно-рейтинговой системы:

1. Выполнение домашних заданий 10 баллов
2. Контрольная работа ♦1 20 баллов
3. Контрольная работа ♦2 20 баллов
4. Экзамен 50 баллов

Примеры задач для Контрольной работы ♦1

1. Направляющая ОС вращается в горизонтальной плоскости  $xy$  вокруг точки  $O$  с постоянной угловой скоростью. В этой плоскости вдоль ОС поступательно с постоянной скоростью движется стержень  $AB$  длиной  $l$ . Стержень образует прямой угол с направляющей ОС. Найти зависимость величины скорости и величины ускорения точки  $B$  стержня от времени, если при  $t=0$  точка  $A$  совпала с точкой  $O$ .

2. Точка движется в плоскости так, что угол между вектором скорости и радиус-вектором всё время движения равен  $f$ . Найти уравнение траектории точки.

3. Точка движется в плоскости  $xy$  с постоянной по величине скоростью. Вектор скорости образует с осью  $x$  угол, пропорциональный времени. Найти уравнение траектории точки, изобразить траекторию, найти величину ускорения точки, если в начальный момент точка находилась в начале координат.

4. Частица движется в горизонтальной плоскости. Найти уравнение траектории в декартовых координатах, если отрезок касательной, заключенный между точкой касания и точкой пересечения касательной с осью  $x$ , имеет постоянную длину  $p$ . Считать, что в начальный момент времени  $x=0$ , а затем частица движется в положительном направлении оси  $x$ .

5. На однородную призму  $A$ , лежащую на горизонтальной плоскости, положена однородная призма  $B$ , массой в  $n$  раз меньше. Длины призм равны соответственно  $a$  и  $b$ . Трения между призмой  $A$  и плоскостью нет. Неизвестно, есть ли трение между призмами. В начальный момент времени призмы покоятся. Затем призма  $B$  начинает скользить вниз по призме  $A$ . Определить длину  $l$ , на которую передвинется призма  $A$ , когда точка  $O$  призмы  $B$  дойдет до горизонтальной плоскости.

6. Каждый элемент бесконечно тонкой однородной неподвижной окружности радиуса  $R$  общей массой  $M$  притягивает материальную точку массы  $m$ , лежащую на перпендикуляре к плоскости окружности, проходящем через её центр. Силы притяжения описываются законом всемирного тяготения. Определить скорость, с которой точка  $m$  пересечёт плоскость окружности, если в начальный момент она покоилась на расстоянии  $h$  от плоскости окружности.

7. С поверхности Земли выстреливают снарядом под углом  $f_0$  к вертикали. Какова должна быть начальная скорость снаряда, чтобы он упал на Землю на расстоянии (по поверхности Земли) в четверть длины экватора? Считать Землю шаром радиуса  $R$ . Ускорение земного притяжения у поверхности Земли  $g$ . Сопротивлением воздуха пренебречь.

8. Известны параметр и эксцентриситет орбиты тела, движущегося в поле тяготения Земли. Найти угол между радиус-вектором тела и скоростью тела, как функцию расстояния от центра Земли.

9. Найти высоту искусственного спутника над поверхностью Земли, если он всё время находится над одной и той же точкой экватора. Радиус земли  $R = 6400$  км, ускорение свободного падения на поверхности Земли  $g = 9.8$  м/с<sup>2</sup>.

10. Комета движется вокруг Солнца по эллиптической орбите с эксцентриситетом  $e$ . Как соотносятся между собой максимальное и минимальное расстояние кометы от Солнца, макс. и мин. значение секторной скорости, макс. и мин. значение угловой скорости.
11. Две частицы с массами  $m_1$  и  $m_2$  взаимодействуют по закону тяготения. Каким неравенством связаны такие значения их радиус-векторов и скоростей в начальный момент времени, при которых во время дальнейшего движения расстояние между частицами остается конечным?

Примеры задач для Контрольной работы ♦2

1. Длина  $l$  плоского маятника меняется по заданному закону в зависимости от угла отклонения от вертикали  $\varphi$ . Сколько степеней свободы у такой системы? Составить уравнение Лагранжа 2-го рода для угла  $\varphi$ .
2. Система плоская. Точка массой  $m_1$  может двигаться по оси  $x$ , а точка массой  $m_2$  взаимодействует с ней посредством пружинки жёсткостью  $k$  и длиной в недеформированном состоянии  $l_0$ . Сколько степеней свободы у данной системы? Составить уравнения Лагранжа 2-го рода. В качестве обобщённых координат выбрать необходимое количество декартовых координат точек.
3. Найти функцию Лагранжа системы, функция Гамильтона которой имеет вид  $H = q_1^2 p_2^2 - q_2^2 p_1^2 + a(p_1^2 + p_2^2)$ . Записать уравнения Гамильтона. Составить уравнение Гамильтона-Якоби и упростить его.
4. Пользуясь только свойствами скобок Пуассона, вычислить  $\{p_1^3 + p_2^2, q_1^2 q_2\}$ .

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Предмет теоретической механики. Пространство и время и их свойства. Понятие материальной точки.
2. Кинематика материальной точки. Предмет кинематики. Основные понятия: радиус-вектор, закон движения, траектория, скорость, ускорение, секторная скорость. Разложение указанных величин в декартовой системе координат.
3. Разложение радиус-вектора и скорости в цилиндрической и сферической системах координат.
4. Естественные координаты. Скорость и ускорение в естественных координатах. Радиус кривизны, нормальное и тангенциальное ускорения.
5. Понятие о силе и массе. Инерциальная и неинерциальная системы отсчета. Преобразование Галилея.
6. Законы Ньютона. Предмет динамики. Прямая и обратная задачи динамики. Принцип относительности Галилея.
7. Начальные условия и принцип причинности в классической механике.
8. Работа силы, мощность силы. Классификация сил: стационарные потенциальные, нестационарные потенциальные, гироскопические и диссипативные силы и их работа.
9. Законы сохранения и изменения полной механической энергии материальной точки.
10. Свойства одномерного движения в потенциальном поле. Точки остановки. Финитное и инфинитное движение. Закон движения. Период финитного движения.
11. Интегрирование уравнений движения в случаях, когда сила является только функцией времени или только функцией соответствующей компоненты скорости.
12. Понятие о первых и вторых интегралах движения.
13. Законы сохранения и изменения импульса и момента импульса материальной точки.
14. Центральная сила. Свойства движения под действием центральной силы: плоское движение, постоянство секторной скорости, монотонность изменения полярного угла.
15. Центральная-симметричная сила. Свойства движения под действием центральной-симметричной силы: первые и вторые интегралы движения, закон движения, уравнение траектории.
16. Задача Кеплера, случай притяжения: уравнения всех типов траектории, перигелий, параметр орбиты, эксцентриситет.

17. Задача Кеплера, случай притяжения: закон движения по эллиптической траектории, третий закон Кеплера.
18. Задача Кеплера, случай отталкивания: уравнение траектории.
19. Задача двух тел: задача о движении центра масс, задача о движении мю-частицы. Траектории и закон движения реальных частиц.
20. Законы сохранения и изменения импульса и момента импульса системы материальных точек.
21. Законы сохранения и изменения полной механической энергии системы материальных точек.
22. Понятие о связях. Удерживающие голономные связи. Стационарные и нестационарные связи. Основная задача динамики несвободной системы.
23. Действительные, возможные и виртуальные перемещения и уравнения, которым они удовлетворяют. Понятие об идеальных связях.
24. Уравнения Лагранжа 1 рода. Законы сохранения и изменения импульса, момента импульса и полной механической энергии несвободной системы материальных точек. Общее уравнение механики.
25. Понятие о независимых обобщенных координатах и числе степеней свободы. Уравнения Лагранжа 2 рода. Обобщенные силы. Функция Лагранжа.
26. Циклические координаты. Доказательство того, что к функции Лагранжа можно прибавить полную производную любой функции обобщенных координат и времени.
27. Структура кинетической энергии в уравнениях Лагранжа 2 рода.
28. Обобщенный импульс. Структура обобщенного импульса. Законы сохранения и изменения обобщенного импульса.
29. Обобщенная энергия. Структура обобщенной энергии. Законы сохранения и изменения обобщенной энергии.
30. Малые колебания системы с одной степенью свободы под действием потенциальных сил.
31. Малые колебания системы со многими степенями свободы под действием потенциальных сил. Критерий устойчивости положения равновесия, собственные частоты, амплитуды колебаний, нормальные координаты.
32. Одномерные колебания при наличии трения: анализ различных случаев.
33. Одномерные вынужденные колебания при наличии трения. Пример: вынуждающая сила, изменяющаяся по гармоническому закону; явление резонанса.
34. Действие. Принцип наименьшего действия для системы с потенциальными силами и идеальными голономными связями. Его эквивалентность уравнениям Лагранжа 2 рода.
35. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Закон изменения функции Гамильтона.
36. Скобки Пуассона и их свойства. Фундаментальные скобки Пуассона. Закон изменения произвольной функции координат, импульсов и времени через скобки Пуассона. Теорема Пуассона.
37. Действие как функция координат и времени.
38. Принцип наименьшего действия в расширенном фазовом пространстве. Его эквивалентность уравнениям Гамильтона.
39. Канонические преобразования. Производящие функции канонических преобразований: различные варианты.
40. Инвариантность скобок Пуассона при каноническом преобразовании. Необходимое и достаточное условие каноничности преобразования.
41. Уравнение Гамильтона-Якоби. Теорема Якоби.
42. Возможные упрощения уравнения Гамильтона-Якоби. Метод разделения переменных и его обоснование.
43. Теорема Лиувилля.



### 7.1. Основная литература:

1. Тазюков Ф.Х., Тазюков, Б.Ф. Задания по курсу "Теоретическая механика. Динамика точки и механической системы". Учебно-методическое пособие / Казан. федер. ун-т, Мех.-мат. фак.; -Казань: [Казанский университет], 2011.-27 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика[Электронный ресурс]. Т.1 Механика , М., Физматлит, 2007.- 224 с. Режим доступа: - <http://e.lanbook.com/view/book/2231/>
3. Нигматулин Р.И. Механика сплошной среды, Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика: учебник для студентов высших учебных заведений.-Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014.-639 с.
4. Теоретическая механика: Учебник / В.Л. Цивильский. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.: 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-905554-48-3, 700 экз. <http://www.znaniyum.com/bookread.php?book=443436>
5. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики [Электронный ресурс]. Лань, 2011, 720 с. Режим доступа: - <http://e.lanbook.com/view/book/1807/>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Сборник коротких задач по теоретической механике [Электронный ресурс]. Под ред. Келе О.Э., Издательство: Лань, ISBN:978-5-8114-0826-9, 3-е изд., стер., 2009, 368 стр. Режим доступа: - <http://e.lanbook.com/view/book/183/>
2. Стрелков С.П. Механика[Электронный ресурс] . Лань, 2005, 560 с. Режим доступа: - <http://e.lanbook.com/view/book/589/>

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Сайт кафедры теоретической физики КФУ - <http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/kafedra-teoreticheskoy-fiziki>  
сайт Научной библиотеки им. Н. И. Лобачевского - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=5056](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=5056)  
страница ассистента Кутузова А.С. - <http://portal.kpfu.ru/docs/F1873255007/a.s.kutuzov.html>  
Страница профессора Прошина Ю.Н. - <http://mrsej.kpfu.ru/pro/>  
Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ - <http://lib.mexmat.ru/>

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

Освоение дисциплины "Теоретическая 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.

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.

Учебные аудитории для проведения лекционных и практических занятий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Физика ионосферы и распространения радиоволн, радиоастрономия.

Автор(ы):

Соловьев О.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Прошин Ю.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.