

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

---

Кафедра теории колебаний и автоматического регулирования

УТВЕРЖДЕНО

решением ученого совета ННГУ

протокол от

«31» мая 2023 г. № 6

**Рабочая программа дисциплины**

Теоретическая механика

---

Уровень высшего образования

бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

---

Форма обучения

очная

---

Нижний Новгород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теоретическая механика» относится к дисциплинам обязательной части (блок Б1.О) основной образовательной программы (ООП) высшего образования по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина изучается в 4-м семестре.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики.	ОПК-1.1. Знает основные составляющие аппарата теоретической механики (определения, математические методы, теоремы).	Собеседование
	ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач.	ОПК-1.2. Умеет применять формульный аппарат теоретической механики для решения физических задач.	Собеседование Задачи
	ОПК-1.3. Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности.	ОПК-1.3. Владеет аппаратом теоретической механики для решения научно-исследовательских задач	Собеседование Задачи
ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использовать радиофизическое измерительное оборудование и применять теоретические методы	ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области теоретической механики	Собеседование
	ОПК-3.3 Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов	ОПК-3.3 Применяет практические навыки использования формализмов Лагранжа и Гамильтона, методы отыскания интегралов движения, исследования малых (линейных) колебаний и движения частиц в полях.	Собеседование Задачи

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

<b>Общая трудоемкость</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>33</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>45</b> экзамен

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе													
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них									Самостоятельная работа обучающегося, часы				
	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа		Занятия лабораторного типа		Всего										
	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная	Очная	Очно-заочная	Заочная		
Лагранжева механика.	19			6			6					12			7		
Движение материальной точки в центральном поле.	18			6			6					12			6		
Малые колебания потенциальных консервативных систем.	18			6			6					12			6		
Движение твердого тела.	18			6			6					12			6		
Гамильтонова механика.	24			8			8					16			8		

В т.ч.текущий контроль	2					2						2					
Промежуточная аттестация - Экзамен																	

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

##### 5.1 Темы практических занятий, по которым дается домашнее задание

1. Системы с одной степенью свободы
2. Функция Лагранжа, уравнения Лагранжа
3. Циклические переменные и интегралы движения
4. Движение частиц в центрально-симметричном поле
5. Малые колебания частиц с одной и несколькими степенями свободы
6. Функция Гамильтона и уравнения Гамильтона, интегралы движения
7. Скобки Пуассона
8. Производящие функции
9. Уравнения Гамильтона-Якоби.

Выполнение домашних заданий проверяется на занятиях. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

##### 5.2 Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Формулировка вариационного принципа Гамильтона.
2. Уравнения Лагранжа.
3. Функция Лагранжа: а) материальной точки в поле тяжести; б) заряженной частицы в электромагнитном поле; в) сферического маятника; г) гармонического осциллятора.
4. Законы изменения обобщенного импульса и обобщенной энергии для потенциальных систем.
5. Циклические переменные и интегралы движения.
6. Уравнения Гамильтона. Основные законы сохранения.
7. Гамильтониан: а) заряженной частицы в электромагнитном поле; б) гармонического осциллятора.
8. Определение скобок Пуассона.
9. Выражение для скорости изменения произвольной функции состояния на траекториях движения гамильтоновой системы.
10. Функция Лагранжа частицы в поле центральной силы.
11. Эффективный потенциал частицы в поле центральной силы.
12. Основные интегралы движения частицы в поле центральной силы.
13. Четыре режима движения в поле центральной силы.
14. Условия равновесия и устойчивость потенциальных консервативных систем.
15. Лагранжиан малых колебаний потенциальных консервативных систем.

16. Лагранжиан нормальных колебаний потенциальных консервативных систем.
17. Характеристическое уравнение для частот нормальных колебаний.
18. Углы и соотношения Эйлера.
19. Кинетическая энергия твердого тела (теорема Кёнига).
20. Тензор инерции твердого тела.
21. Выражение кинетической энергии вращения и кинетического момента вращения через:
  - а) тензор инерции общего вида; б) тензор инерции, приведенный к главным осям.
22. Запись осевого момента через тензор инерции.
23. Четыре вида производящих функций, формулы канонических преобразований.
24. Критерий каноничности преобразований.
25. Полный интеграл уравнения Гамильтона-Якоби для консервативных систем. Укороченное уравнение Гамильтона-Якоби.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр

	минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	рированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	ированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	ированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	рированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	рированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки  при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом

		хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы

вопросы	Код формируемой компетенции
<p>1. Определение функционала действия и формулировка вариационного принципа в механике Лагранжа.</p> <p>1. Уравнения Лагранжа.</p> <p>2. Функция Лагранжа: а) материальной точки в поле тяжести; б) заряженной частицы в электромагнитном поле; в) сферического маятника; г) гармонического осциллятора.</p> <p>3. Определение обобщённого импульса, выражение для обобщённой энергии.</p> <p>1. Циклические переменные и интегралы движения.</p> <p>4. Законы изменения обобщенного импульса и обобщенной энергии в механике Лагранжа.</p> <p>2. Функция Лагранжа частицы в центральном поле.</p> <p>3. Эффективный потенциал частицы в центральном поле.</p> <p>4. Одномерное движение: решение в квадратурах.</p> <p>5. Одномерное движение: достижимые области.</p> <p>6. Отыскание положений равновесия потенциальных консервативных систем, условие устойчивости.</p> <p>7. Функция Лагранжа малых колебаний потенциальных консервативных систем.</p> <p>8. Функция Лагранжа нормальных колебаний.</p> <p>9. Характеристическое уравнение для частот малых колебаний.</p> <p>10. Нахождение функции Гамильтона по заданной функции Лагранжа.</p> <p>11. Уравнения Гамильтона. Основные законы сохранения.</p> <p>12. Функция Гамильтона заряженной частицы в электромагнитном поле.</p>	ОПК-1, ОПК-2

### 5.2.2 Экзаменационные вопросы для оценки сформированности компетенций ОПК-1, ОПК-2

1. Обобщенные координаты. Вариационный принцип в механике. Уравнения Лагранжа.
2. Функция Лагранжа свободной материальной точки.
3. Функция Лагранжа для систем материальных точек: потенциальные системы, неавтономные потенциальные системы, потенциальные системы с голономными связями.
4. Функция Лагранжа обобщённо-потенциальных систем. Сила Лоренца как обобщённо-потенциальная сила.
5. Циклические переменные. Законы сохранения и изменения обобщённых импульсов. Обобщённая энергия. Законы сохранения и изменения обобщённой энергии. Теорема Нётер.
6. Движение материальной точки в центральном поле. Режимы финитного и инфинитного движения, с падением и без падения на центр поля.
7. Состояния равновесия механических систем. Устойчивость состояний равновесия по Ляпунову. Теорема Лагранжа об устойчивости положений равновесия. Функция Лагранжа малых колебаний.
8. Уравнения движения для малых колебаний и их общее решение.
9. Функция Лагранжа нормальных колебаний. Нормальные координаты. Отыскание преобразования к нормальным координатам.
10. Определение твёрдого тела. Эйлеровы углы. Вектор угловой скорости. Соотношения Эйлера.
11. Кинетическая энергия твёрдого тела. Теорема Кёнига.
12. Выражение для кинетической энергии вращательного движения твёрдого тела через тензор инерции. Компоненты тензора инерции.
13. Преобразования компонент тензора инерции. Приведение тензора инерции к главным осям. Главные оси и моменты инерции. Выражение кинетической энергии вращательного движения через тензор инерции, приведённый к главным осям.
14. Преобразование Лежандра. Функция Гамильтона механической системы. Уравнения Гамильтона. Закон изменения обобщённой энергии. Циклические переменные и понижение порядка уравнений Гамильтона.
15. Скобки Пуассона. Закон изменения произвольной функции состояния. Свойства скобок Пуассона. Фундаментальные скобки Пуассона. Теорема Пуассона.
16. Канонические преобразования. Действие как функция координат и времени. Производящие функции канонических преобразований.
17. Инвариантность скобок Пуассона относительно канонических преобразований. Необходимое и достаточное условие каноничности преобразования.
18. Метод Гамильтона-Якоби. Уравнение Гамильтона-Якоби. Понятие полного интеграла.
19. Методы упрощения задачи отыскания полного интеграла уравнения Гамильтона-Якоби: укороченное уравнение Гамильтона-Якоби, метод разделения переменных, случай циклических переменных.
20. Бесконечно-малые канонические преобразования. Движение как каноническое преобразование. Теорема Лиувилля.

### 5.2.3 Типовые задачи для оценки сформированности компетенций ОПК-1, ОПК-2

1. К вертикальной оси  $AB$  прикреплена горизонтальная штанга длины  $a$ . На дальнем от оси конце штанги расположен шарнир, вокруг которого в плоскости оси и штанги может



вращаться отрезок длины  $b$ . На конце отрезка закреплена частица массы  $m$ . Вся система может свободно вращаться вокруг оси  $AB$ . Частица движется, таким образом, по поверхности тора. Система находится в однородном гравитационном поле с ускорением свободного падения  $g$ , направленным противоположно оси  $AB$ .

Найти функцию Лагранжа, интегралы движения, получить закон движения в квадратурах.

2. К вертикальной оси  $AB$  прикреплена горизонтальная штанга длины  $a$ . На дальнем от оси конце штанги расположен шарнир, вокруг которого в плоскости оси и штанги может вращаться отрезок длины  $b$ . На конце отрезка закреплена частица массы  $m$ . Вся система может свободно вращаться вокруг оси  $AB$ . Частица движется, таким образом, по поверхности тора. Система находится в однородном гравитационном поле с ускорением свободного падения  $g$ , направленным противоположно оси  $AB$ .

Найти функцию Лагранжа, интегралы движения, найти закон движения частицы, близкого к окружности, методом малых колебаний.

3. К вертикальной оси  $AB$  прикреплена горизонтальная штанга длины  $a$ . На дальнем от оси конце штанги расположен шарнир, вокруг которого в плоскости оси и штанги может вращаться отрезок длины  $b$ . На конце отрезка закреплена частица массы  $m$ . Вся система вращается вокруг оси  $AB$  с заданной угловой скоростью  $\Omega$ . Частица движется, таким образом, по поверхности тора. Система находится в однородном гравитационном поле с ускорением свободного падения  $g$ , направленным противоположно оси  $AB$ .

Найти функцию Лагранжа, найти частоту малых колебаний.

4. К вертикальной оси  $AB$  прикреплена горизонтальная штанга длины  $a$ . На дальнем от оси конце штанги расположен шарнир, вокруг которого в плоскости оси и штанги может вращаться отрезок длины  $b$ . На конце отрезка закреплена частица массы  $m$ . Вся система может свободно вращаться вокруг оси  $AB$ . Частица движется, таким образом, по поверхности тора. Система находится в однородном гравитационном поле с ускорением свободного падения  $g$ , направленным противоположно оси  $AB$ .

Найти функцию Лагранжа, функцию Гамильтона, записать уравнения Гамильтона, свести к уравнению для одной степени свободы методом отщепления циклических переменных.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 1. Механика – М., 1988. – 216 с.
2. Голдстейн Г. Классическая механика. – М.: Наука, 1975. – 415 с.
3. Коткин Г.Л., Сербо В.Г. Сборник задач по классической механике: [для физ. специальностей ун-тов]. – М.: Наука, 1977. – 319 с., (М.: Наука, 1969. - 240 с.).

### б) дополнительная литература:

1. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков: [для вузов по специальности «Физика»]. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. – 569 с. (М.: Наука, 1970. - 447 с.).

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Лекционные аудитории, аудитории для практических занятий в группах.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.03 - Радиоп физика.

Автор(ы): Канakov О.И. д.ф.-м.н., проф. каф. Теории колебаний и автоматического регулирования

Рецензент(ы): Осипов Г.В., д.ф.-м.н., доц., зав. каф. теории управления и динамики систем ИИТММ

Заведующий кафедрой: Матросов В.В. д.ф.-м.н., проф.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.