

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Саровский физико-технический институт -**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра «Теоретической и экспериментальной механики»**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан ФТФ, член корр. РАН, д.ф.-м.н.**

\_\_\_\_\_ **А.К. Чернышев**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2023 г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Теория упругости**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	15.03.03 Прикладная механика
Наименование образовательной программы	Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры
Квалификация (степень) выпускника	бакалавр
Форма обучения	очная

Программа одобрена на заседании кафедры

Зав. кафедрой ТиЭМ,

д.т.н., доцент

протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2023 г.

\_\_\_\_\_ **А.Л. Михайлов**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2023 г.**

г. Саров, 2023 г.

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

<b>Семестр</b>	<b>В форме практической подготовки</b>	<b>Трудоемкость, кред.</b>	<b>Общий объем курса, час.</b>	<b>Лекции, час.</b>	<b>Практич. занятия, час.</b>	<b>Лаборат. работы, час.</b>	<b>СРС, час.</b>	<b>КР/КП</b>	<b>Форма(ы) контроля, экс./зач./ЗсО/</b>	<b>Интерактивные часы</b>
<b>5</b>	32	4	144	16	32	-	60	-	Э	8
<b>ИТОГО</b>	<b>32</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>60</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>8</b>

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Теория упругости» обеспечивает не только нормативно-методическую базу освоения обучающимися профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика», с квалификацией выпускника бакалавр, но и высокую профессиональную конкурентоспособность выпускников и их востребованность для решения актуальных задач и потребностей регионального и Всероссийского рынка труда, с учетом перспектив его развития.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины – изучение основных понятий, моделей и методов решения задач теории упругости.

Задачи дисциплины:

- ✓ ознакомить слушателей с важнейшими разделами теории упругости и ее применением для решения практических задач;
- ✓ рассмотреть основные фундаментальные теоремы теории упругости, характеризующие присущие только этой теории особенности;
- ✓ продемонстрировать вытекающие из основных теорем методы и алгоритмы решения задач.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

*Индекс дисциплины: Б1.В.07*

Дисциплина «Теория упругости» относится к вариативной части цикла образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры» направления 15.03.03 - Прикладная механика.

Дисциплина основывается на знаниях, полученных слушателями при изучении дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного» «Уравнения математической физики»

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины «Теория упругости» используются слушателями при изучении специальных дисциплин и написании курсовых и дипломных работ.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Ожидается, что в результате освоения дисциплины студент приобретет следующие компетенции:

#### Профессиональные компетенции (ПК)

в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
<b>Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>			
участие в составе научно-исследовательской группы в в научно-исследовательских работах в области прикладной механики	Физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, приборы и аппаратура и другие объекты современной техники различных подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ, которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения экспериментальных методов исследования, математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики.	<b>ПК-1</b> Способен к проведению работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «40.011. Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»	<b>З-ПК-1</b> Знать методы анализа научных данных <b>У-ПК-1</b> Уметь оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ <b>В-ПК-1</b> Владеть проведением анализа научных данных, результатов экспериментов и наблюдений; осуществлением теоретического обобщения научных данных, результатов экспериментов и наблюдений

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 кредитов, 144 часов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел *
			Лекции <b>16</b>	Практ. занятия/ семинары <b>32</b>	Лаб. работы <b>0</b>			
<b>5 семестр</b>								
1	Основные соотношения линейной теории упругости		<b>2</b>	<b>4</b>		контр. работа/ устный опрос	контр. работа/ устный опрос	
2	Антиплоская деформация, кручение, изгиб		<b>4</b>	<b>6</b>		контр. работа/ устный опрос	контр. работа/ устный опрос	
3	Некоторые пространственные задачи теории упругости		<b>4</b>	<b>6</b>		контр. работа/ устный опрос	контр. работа/ устный опрос	
4	Динамические задачи теории упругости		<b>4</b>	<b>8</b>		контр. работа/ устный опрос	контр. работа/ устный опрос	
5	Дислокации в упругом теле		<b>2</b>	<b>8</b>		контр. работа/ устный опрос	контр. работа/ устный опрос	
...	<b>Экзамен</b>							0 - 50
	<b>СРС – 60 час</b>							100

## 4.1. Содержание разделов дисциплины.

### Лекционный курс

Тема 1. Основные соотношения линейной теории упругости

- 1.1. Модель упругого тела. Закон Гука.
- 1.2. Уравнения теории упругости в перемещениях и напряжениях.
- 1.3. Формулировка задач теории упругости. Теорема единственности решения.

Теорема Клапейрона. Теорема Максвелла - Бетти.

Тема 2. Антиплоская деформация, кручение

- 2.1. Антиплоская деформация. Винтовая дислокация.
- 2.2. Трещина продольного сдвига. Высвобождение энергии при раскрытии трещины.
- 2.2. Кручение круглых стержней. Кручение стержней некруглого поперечного сечения.
- 2.3. Теорема о циркуляции касательного напряжения. Теорема о максимуме касательного напряжения.
- 2.4. Концентрация напряжений при кручении.

Тема 3. Некоторые пространственные задачи теории упругости

- 3.1. Представление решения задачи теории упругости в форме Папковича - Нейбера.
- 3.2. Дислокация Вольтерра.
- 3.3. Теорема Вейнгартена.
- 3.4. Задача теории упругости для полупространства. Контактная задача.

Тема 4. Динамические задачи теории упругости

- 4.1. Постановка динамических задач теории упругости. Свободные и вынужденные колебания.
- 4.2. Неравенство Рэлея. Распространение плоских волн в неограниченной упругой среде.
- 4.3. Отражение волн.

Тема 5. Дислокации в упругом теле

- 5.1. Дислокации в кристаллах. Дислокации Бюргера.
- 5.2. Прямолинейные дислокации. Энергия дислокации.
- 5.3. Плоская дислокация. Кольцевая дислокация.
- 5.4. Взаимодействие между дислокациями. Стенка дислокаций.

## Практические (семинарские) занятия:

Уравнения теории упругости в криволинейных координатах. Круговой и сферический концентраторы.
Простейшие задачи о кручении. Кручение стержней эллиптического, треугольного, прямоугольного, кругового сечения.
Нормальная нагрузка на границе полупространства. Потенциал однородного эллипсоида. Жесткий плоский штамп, круглый в плане.
Метод функционально - инвариантных решений. Отражение волн.
Простейшие дислокации (винтовая, круговая, сдвиговая). Взаимодействие между дислокациями.

## Методические рекомендации студенту:

Целью дисциплины является изучение основных понятий, моделей и методов решения задач линейной теории упругости. В курсе излагаются основы классической теории упругости. Все основные понятия теории изложены в курсе МСС, поэтому необходимо активизировать остаточные знания студентов.

Проработку лекционного материала рекомендуется проводить не после каждой лекции, а по завершении темы. Это позволит связать воедино полученные знания и составить цельную картину изучаемой проблемы. Не следует стремиться к механическому запоминанию формулировок, приведенных положений, формул, определений и теорем. Для понимания материала очень эффективным является самостоятельное прорешивание задач, рассматриваемых на практических занятиях, или подобных им.

Старайтесь быть активным участником семинара. Это нужно не преподавателю, а в первую очередь Вам, поскольку умение обосновать свою точку зрения, найти компромиссное решение очень ценятся в реальной жизни.

## Методические рекомендации преподавателю:

Необходимо отметить особенности лекционного материала данного курса, указать, с основами каких предметов должен быть знаком студент к моменту изучения данной дисциплины, какими основными понятиями, методами и представлениями должен владеть студент, начиная изучение данной дисциплины.

Так как учебным планом предусмотрены практические занятия, целесообразно акцентировать внимание студентов на необходимости дальнейшего использования полученных знаний при изучении последующих курсов, выполнении курсовых и дипломных работ.

Настоящей рабочей программой предусмотрено проведение коллоквиумов по основным разделам программы. С программой коллоквиумов студенты должны быть ознакомлены на первых практических занятиях. Практические занятия существенным образом

способствуют усвоению лекционного материала и в целом усвоению программы курса.

Возможной иллюстрацией ряда требований, предъявляемых к студенту при изучении дисциплины, может служить ФГОС. При организации самостоятельной работы студентов следует указать им на наличие в сети Интернет полного описания всех ФГОС и многих рабочих программ учебных дисциплин, находящихся в "страничках" Российского образовательного портала ([www.education.ru](http://www.education.ru)).

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Для реализации компетентностного подхода предусматривается использование в учебном процессе проведения совместных мастер-классов экспертов и специалистов ведущих подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ с учетом использования новейших методов и средств измерений при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по тематике работ РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Кафедра «Теоретической и экспериментальной механики» ФТФ в настоящее время располагает тем набором технических, программных, мульти-медийных, электронных, печатных и аппаратных средств, которые в процессе реализации Рабочей программы по дисциплине «Теория упругости» позволяют в полной мере применять метод проблемного изложения материала в сочетании с рейтинговой системой аттестации студентов.

При изложении лекционного материала используются ЭСО, проекторы, компьютеры, ноутбуки. На кафедре накоплен большой объем материала на электронных носителях, обеспечивающий возможность демонстраций результатов.

Одним из важных подходов, используемым для развития мотивации к изучению дисциплины «Теория упругости», является освещение на всех видах занятий, включая, и курсовое и дипломное проектирование, результатов измерений, достигнутых преподавателями, аспирантами, магистрантами и бакалаврами в процессе выполнения научных исследований.

**Лекции** проводятся, как в традиционной форме, так и в форме лекций с использованием компьютерных презентаций.

**Самостоятельная работа** включает выполнение домашних заданий (решение задач для лабораторных работ), подготовку к зачёту.

Активные методы обучения (деловые игры, научные проекты)

Выполнение индивидуальных заданий с элементами исследования.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.**

Для текущего контроля успеваемости используются устный опрос на лекциях, решение задач на семинарах и при выполнении лабораторных работ.

Аттестация по дисциплине – экзамен

Промежуточный контроль знаний проводится в виде коллоквиумов.

Итоговый контроль проводится в виде зачета. Зачет ставится по результатам коллоквиумов.

п/п	Тематика коллоквиума	Время проведения	Номер раздела
1	Основные соотношения теории упругости. Антип-	6-е пр. занятие	1,2
2	Пространственные и динамические задачи теории	13-е пр. занятие	3,4
3	Дислокации в упругом теле	17-е пр. занятие	5

### **Темы рефератов.**

1. Уравнения теории упругости в сферических координатах.
2. Первая и вторая основные задачи для шара.
3. Центральные - симметричные колебания шара.

### **Программы коллоквиумов.**

#### **Коллоквиум № 1.**

Модель упругого тела. Закон Гука. Закон Гука для изотропных тел.

Формулировка задачи теории упругости: первая и вторая основные задачи, смешанная задача.

Теорема единственности решения. Теорема Клапейрона. Теорема Максвелла - Бетти.

Уравнения в перемещениях и напряжениях.

Антиплоская деформация. Трещина продольного сдвига. Высвобождение энергии при раскрытии трещины. Теорема о циркуляции касательного напряжения. Теорема о максимуме касательного напряжения. Концентрация напряжений при кручении.

#### **Коллоквиум № 2.**

Представление решения задачи теории упругости в форме Папковича - Нейбера.

Теорема Вейнгартена. Задача теории упругости для полупространства. Контактная задача.

Постановка динамических задач теории упругости. Свободные и вынужденные колебания.

Неравенство Рэлея. Распространение плоских волн в неограниченной упругой среде.

Отражение волн.

### Коллоквиум № 3.

Дислокации в кристаллах. Дислокации Бюргерса. Винтовая дислокация. Дислокация Вольтерра. Прямо- линейные дислокации. Энергия дислокации. Плоская дислокация. Кольцевая дислокация. Взаимодействие между дислокациями. Стенка дислокаций.

Промежуточный контроль знаний проводится в виде коллоквиумов.

Итоговый контроль проводится в виде зачета. Зачет ставится по результатам коллоквиумов.

п/п	Тематика коллоквиума	Время проведения	Номер раздела
1	Основные соотношения теории упругости. Антип-	6-е пр. занятие	1,2
2	Пространственные и динамические задачи теории	13-е пр. занятие	3,4
3	Дислокации в упругом теле	17-е пр. занятие	5

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература:

1. Ю.Н. Работнов Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988, 712 с.
2. В. Новацкий. Теория упругости. М.: Мир, 1975. 872 с.
4. А. И. Лурье. Теория упругости. М.: Наука, 1970. 939 с.
5. А. И. Лурье Пространственные задачи теории упругости. М.: Наука, 1972. 840 с. (1 экз.)

### Дополнительная литература:

1. Сапунов, В.Т. Прикладная теория упругости [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. Т. Сапунов. - Москва : МИФИ.Ч. 1. - [Б. м.], 2008. - 1 CD-ROM. - ISBN 978-5-7262-0917-3
2. Сапунов, В.Т. Задачи прикладной теории упругости [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. Т. Сапунов. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. - ISBN 978-5-7262-1474-0
3. Сапунов, В.Т. Прикладная теория упругости [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. Т. Сапунов. - Москва : МИФИ.Ч. 2. - [Б. м.], 2008

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитории СарФТИ НИЯУ МИФИ, оборудование учебных, научно-исследовательских лабораторий кафедры ТиЭМ СарФТИ НИЯУ МИФИ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению 15.03.03 Прикладная механика.

**Программу составил:** преподаватель кафедры ТиЭМ

И.А. Одзерихо

**Рецензент:** заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов