


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:  
на заседании кафедры теоретической физики  
протокол №5 от «17» марта 2021 г.

Зав. кафедрой  Вахитов Р.М.

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ

 /Балапанов М.Х.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Механические свойства твердых тел**

**Б1.В.ДВ.06.02 Дисциплина по выбору**

**ПРОГРАММА МАГИСТРАТУРЫ**

Направление подготовки

03.04.02 – Физика

Профиль подготовки


**Цифровые технологии в физике функциональных материалов**

Квалификация  
**магистр**

Форма обучения  
Очная

Разработчик (составитель)

доцент, к.ф.-м.н., доцент  
(должность, ученая степень, ученое звание)

 Харисов А.Т.  
(подпись, Фамилия И.О.)

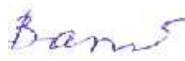
Для приема: 2021 г.

Уфа 2021

Составитель / составители: \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н., доц. Харисов А.Т. \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической физики протокол №5 от «17» марта 2021 г.

Заведующий кафедрой



\_\_\_\_\_ / Вахитов Р.М. /

### Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций	4
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) - <i>(Приложение №1)</i>	4 (10)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	5
4.1. Перечень индикаторов достижения компетенций с указанием планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Описание показателей и критериев оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), описание шкал оценивания	5
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	5
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	8
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	8
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	8
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	9

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций

По итогам освоения дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов обучения:

ПК-1. Способен применять фундаментальные знания и современные цифровые технологии для решения научно-инновационных задач в области материаловедения и наукоемких технологий

Табл. 1

Категория (группа) компетенций	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
	ПК-1. Способен применять фундаментальные знания и современные цифровые технологии для решения научно-инновационных задач в области материаловедения и наукоемких технологий	ПК-1.1. Знать	Знать основные представления и уравнения теории упругости
		ПК-1.2. Уметь	Уметь решать простейшие статические и динамические задачи
		ПК-1.3. Владеть	Владеть методикой сведения реальных физических задач в области упругости к более простым модельным

## 2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Механические свойства твердых тел» относится к дисциплинам по выбору.  
Дисциплина изучается на 2 курсе в 3 и 4 семестрах.

Основной целью дисциплины «Механические свойства твердых тел» является ознакомление магистрантов с разделом физики конденсированного состояния – механикой деформируемого твердого тела в качестве фундаментальной основы для применения в современных технологиях. Задачами дисциплины является изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

Для освоения данной дисциплины студенту необходимо освоить предварительно следующие дисциплины: основы механики сплошных сред, термодинамика и статистическая физика, дифференциальные уравнения, уравнения математической физики.

## 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

## 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

### 4.1. Перечень индикаторов достижения компетенций с указанием планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Описание показателей и критериев оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции:

ПК-1. Способен применять фундаментальные знания и современные цифровые технологии для решения научно-инновационных задач в области материаловедения и наукоемких технологий

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (модулю)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
ПК-1.1. Знать	Знать основные представления и уравнения теории упругости	Практически не знает	Знает
ПК-1.2. Уметь	Уметь решать простейшие статические и динамические задачи	Практически не умеет	Умеет
ПК-1.3. Владеть	Владеть методикой сведения реальных физических задач в области упругости к более простым модельным	Практически не владеет	Владеет

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (модулю)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
ПК-1.1. Знать	Знать основные представления и уравнения теории упругости	Практически не знает	Имеет значительные пробелы в знаниях	Знает почти всё	Знает всё
ПК-1.2. Уметь	Уметь решать простейшие статические и динамические задачи	Практически не умеет	Не умеет по значительной части материала дисциплины	Умеет почти всё	Умеет всё
ПК-1.3. Владеть	Владеть методикой сведения реальных физических задач в области упругости к более простым модельным	Практически не владеет	Не владеет по значительной части материала дисциплины	По существу владеет	Владеет

### 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (модулю)	Контролируемые действия по проверке знаний, умений и владений (Оценочные средства)
ПК-1.1. Знать	Знать основные представления и уравнения теории упругости	Приём домашних работ. Проверка реферата.
ПК-1.2. Уметь	Уметь решать простейшие статические и динамические задачи	Приём домашних работ. Проверка реферата
ПК-1.3. Владеть	Владеть методикой сведения реальных физических задач в области упругости к более простым модельным	Приём домашних работ. Проверка реферата.

## Вопросы к зачёту по теоретическому материалу

### 3 семестр

1. Тензор деформации.
2. Тензор напряжений.
3. Термодинамика деформирования.
4. Свободная энергия как функция тензора деформации.
5. Однородные деформации. Коэффициенты Пуассона.
6. Деформации с изменением температуры.

**Зачет** проходит в устной форме и заключается в собеседовании по одному из вышеприведённых вопросов. В случае показа удовлетворительных знаний, выставляется зачёт. Допуском к зачёту является полное выполнение домашних работ и наличие зачёта за реферат.

## Вопросы к экзамену по теоретическому материалу

### 4 семестр

1. Уравнение равновесия изотропных тел, случай неравномерно нагретых тел.
2. Упругие свойства кристаллов
3. Упругие волны в изотропной среде
4. Упругие волны в кристаллах
5. Поверхностные волны
6. Продольные волны в стержне
7. Ангармонические колебания
8. Уравнение теплопроводности в твердом теле
9. Теплопроводность кристалла
10. Вязкость твердых тел
11. Поглощение звука в твердых телах
12. Механика жидких кристаллов

**Экзамен** проходит в устной форме и заключается в собеседовании по двум из вышеприведённых вопросов. Допуском к экзамену является полное выполнение домашних работ.

Образец экзаменационного билета представлен в Приложении № 3.

## Темы рефератов 3 семестра

1. Соприкосновение твёрдых тел.
2. Упругие свойства кристаллов. Упругие волны в кристаллах.
3. Упругие волны в изотропной среде. Поверхностные волны.
4. Энергия и уравнение равновесия пластинки.
5. Продольные деформации пластинок. Сильный изгиб пластинок.
6. Деформации оболочек. Кручение стержней.
7. Изгиб стержней. Энергия и уравнения равновесия стержней.
8. Слабый изгиб стержней. Устойчивость упругих систем.
9. Колебания стержней и пластинок. Ангармонические колебания.
10. Упругие деформации при наличии дислокации. Действие поля напряжений на дислокацию.
11. Уравнение теплопроводности в твёрдых телах. Теплопроводность кристаллов.
12. Вязкость твёрдых тел. Поглощение звука в твёрдых телах.

**Зачёт за реферат** выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы реферата, продемонстрировал знание терминологии, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы.

В каждом семестре предусмотрены три **домашние работы**. Для зачитывания каждого домашнего задания от студента требуется, чтобы было приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов.

### Пример задач домашней работы

1. Определить деформацию стержня длиной  $l$ , стоящего вертикально в поле силы тяжести.
2. Определить деформацию неограниченной упругой среды, к малому участку которой приложена сила  $F$ .
3. Определить зависимость модуля растяжения кубического кристалла от направления.

На практических и лабораторных занятиях студенты решают задачи у доски в аудитории. Для демонстрации освоения предусмотренных дисциплиной компетенций каждый студент в семестр не менее одного раза должен выступить у доски.

### Пример задач для практического занятия

1. Написать выражение для упругой энергии изотропного тела в третьем приближении.
2. Плоскопараллельный пласт толщины  $h$  (среда  $I$ ) лежит на упругом полупространстве. Определить зависимость частоты от волнового вектора для поперечных волн в пласте с направлением колебаний, параллельным границам пласта.
3. Определить коэффициент затухания собственных колебаний стержня
4. Определить зависимость частоты от волнового вектора для упругих волн, распространяющихся в кристалле гексагональной системы.

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **а) основная литература:**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Физматлит, 2001. 264 с. [В библ. БашГУ имеется 12 экз.]

#### **б) дополнительная литература:**

2. Седов Л.И. Механика сплошной среды: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2004. Т.1. 528 с. [В библ. БашГУ имеется 10 экз.]
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2004. Т.2. 560 с. [В библ. БашГУ имеется 10 экз.]
4. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979, 744 с. [В библ. БашГУ имеется 9 экз.]

### **5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

1. ЭБС издательства Лань <https://e.lanbook.com/>
2. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
3. Российский портал «Открытого образования» <https://openedu.ru/>
4. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/pde.htm>



## 6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
<i>учебная аудитория</i> № 219а или № 224 (физмат корпус)	Лекции	Доска, компьютер, мультимедийный проектор, экран
<i>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</i> аудитория № 219а или № 324 или № 318 или № 224 (физмат корпус)	Практические и лабораторные занятия	Доска, мел, сборники задач, калькулятор, компьютеры
Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.
Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

по дисциплине Механические свойства твердых тел на 3-4 семестр

Разбиение общего числа часов по видам учебных занятий с указанием их объемов приведено в таблице 2  
 Табл. 2

Вид работы	Общий объем дисциплины	Семестр № 3 . Количество часов	Семестр № 4 . Количество часов
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108	1/36	2/72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	51,9	24,7	27,2
лекций	24	12	12
практических/ семинарских	0	0	0
лабораторных	26	12	14
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	1,9	0,7	1,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	29,1	11,3	17,8
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	27	0	27

Форма(ы) контроля:  
 зачет, проверка реферата 3 семестр  
 экзамен 4 семестр

### 3 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Тензор деформаций. Тензор напряжений.	2		2	2	[1]: § 1, 2	[1]: § 1, 2	Приём домашних работ. Проверка реферата
2.	Термодинамика деформирования. Энергия, свободная энергия, термодинамический потенциал. Основные термодинамические соотношения для деформированного состояния.	2		2	2	[1]: § 3	[1]: § 3	Приём домашних работ. Проверка реферата
3.	Свободная энергия как функция тензора деформаций. Изотропный случай. Закон Гука. Модули упругости. Однородные деформации. Коэффициент Пуассона.	2		2	2	[1]: § 4, 5	[1]: § 4, 5	Приём домашних работ. Проверка реферата
4.	Деформации с изменением температуры. Изотермические и адиабатические модули упругости.	2		2	2	[1]: § 6	[1]: § 6	Приём домашних работ. Проверка реферата
5.	Уравнения равновесия изотропных тел. Случай неравномерно нагретых тел.	2		2	2	[1]: § 7	[1]: § 7	Приём домашних работ. Проверка реферата
6.	Равновесие упругой среды, к малому участку которой приложена сила. Тензор Грина.	2		2	1,3	[1]: § 8	[1]: § 8	Приём домашних работ. Проверка реферата
<b>Всего часов:</b>		12		12	11,3			

**Примечание 1.** В таблицу не включены запланированные 0,7 часа ФКР (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности во время семестра, подразумевающие контактную работу обучающихся с преподавателем).

## 4 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Упругие свойства кристаллов. Составление свободной энергии деформированного тела. Тепловое расширение кристаллов.	2		2	8	[1]: § 10	[1]: § 10	Приём домашних работ. Проверка реферата
2.	Уравнения движения упругой среды. Случай плоской упругой волны. Упругие волны в изотропной среде. Случай произвольной упругой волны. Поперечные и продольные волны.	2		2	8	[1]: § 22	[1]: § 22	Приём домашних работ. Проверка реферата
3.	Упругие волны в кристаллах. Поверхностные волны. Продольные волны в стержнях. Ангармонические волны.	2		2	8	[1]: § 23 – 26	[1]: § 23 – 26	Приём домашних работ. Проверка реферата
4.	Теплопроводность твердых тел. Вязкость твердых тел. Поглощение звука в твердом теле. Условия совместности Сен-Венана. Тензор деформаций в криволинейных системах координат.	2		2	8	[1]: § 31 – 34	[1]: § 31 – 34	Приём домашних работ. Проверка реферата
5.	Упругие деформации при наличии дислокации.	2		2	8	[1]: § 27	[1]: § 27	Приём домашних работ. Проверка реферата
6.	Действие поля напряжений на дислокацию. Непрерывное распределение дислокаций.	2		4	4,8	[1]: § 28, 29	[1]: § 28, 29	Приём домашних работ. Проверка реферата
<b>Всего часов:</b>		12		14	44,8			

**Примечание 1.** В таблицу не включены запланированные 1,2 часа ФКР (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности во время семестра, подразумевающие контактную работу обучающихся с преподавателем).

**Примечание 2.** Часы на самостоятельную работу включают также время на подготовку к экзамену (контроль).

## Форма экзаменационного билета

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине Механические свойства твердых тел

Направление магистратуры 03.04.02 Физика

Профиль подготовки

Цифровые технологии в физике функциональных материалов

1. Уравнение равновесия изотропных тел, случай неравномерно нагретых тел.
2. Поверхностные волны.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

  
(подпись)

Р.М. Вахитов

(Ф.И.О.)