

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено
на заседании кафедры
протокол № 5 от «12» января 2022г

Согласовано:
Председатель УМК ФТИ

Зав. кафедрой Балапанов М.Х./



Балапанов М.Х./



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина Экспериментальные методы теплофизики

(наименование дисциплины)

_____ Часть, формируемая участниками образовательных отношений _____

программа бакалавриата

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 Физика

(код и наименование направления подготовки (специальности))

Направленность (профиль) подготовки

«Цифровые технологии в физике функциональных материалов»

(наименование направленности (профиля) подготовки)

Квалификация

бакалавр

<p>Разработчик (составитель) доцент, к.ф.-м.н. (должность, ученая степень, ученое звание)</p>	<p> _____/_____/_____ Ишембетов Р.Х. (подпись, Фамилия И.О.)</p>
---	--

Для приема: 2022 г.

Уфа 2022г.

Составитель: доцент Ишембетов Р.Х.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры протокол № 5 от «12» января 2022г

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
 - 4.1. Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием соотнесенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине.
 - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

По итогам освоения дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов обучения:

Категория (группа) компетенции ¹ (при наличии ОПК)	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
	ПК-1. Способен планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	ПК-1-1. Знает перспективные направления фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Знает планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований
		ПК-1.2. Умеет планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Умеет планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований ...
		ПК-1.3. Владеет основными навыками планирования и проведения научных исследований по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Владеет навыкам планирования и проведения научных исследований по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований ...

¹ Указывается только для УК и ОПК (при наличии).

Категория (группа) компетенций ² (при наличии ОПК)	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
	ПК-4. Способен использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	ПК-4.1. Знать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	Знает теорию динамики решетки, теорию теплоемкости Дебая, Эйнштейна, теорию теплопроводности, механизмы теплового расширения, основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел; фундаментальные понятия, терминологию теории;
		ПК-4.2. Уметь использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	Умеет использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий ...
		ПК-4.3. Владеть навыками использования фундаментальных знаний по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	Владеет навыками использования фундаментальных знаний по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий ...

² Указывается только для УК и ОПК (при наличии).

		...	
--	--	-----	--

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Экспериментальные методы теплофизики» относится к *вариативной* части.
Дисциплина изучается на 4 *курсе(ах)* в 8 семестре.

Цели изучения дисциплины:

изучение методов описания теплового движения кристаллической решетки и свободных электронов в твердых телах; изучение основных моделей теплоемкости диэлектрических и металлических кристаллов; изучение основных экспериментальных методов изучения теплоемкости, теплопроводности.

Изучение основывается на знаниях, полученных при освоении математического и естественнонаучного цикла, а также предшествующих дисциплин профессионального цикла. Дисциплина предполагает углубленное изучение соответствующего раздела дисциплины базовой части профессионального цикла «Физика конденсированного состояния». Приобретаемые знания, умения и владения, а также элементы формируемых профессиональных компетенций ориентированы на практическую профессиональную деятельность выпускника, а также могут быть использованы в процессе дальнейшего обучения при прохождении производственной практики и выполнении ВКР.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

как Физика, Теоретическая физика, Линейные и нелинейные уравнения физики, Избранные главы физики, Компьютерное моделирование, Основы современных технологий, Современные проблемы ФКС, Компьютерные технологии, Решение задач по профилю, Физика конденсированного состояния, Физико-химия наноструктурированных материалов, Введение в магнетизм и магнитные материалы, Кристаллография, Электрические и магнитные измерения, Физика полупроводников и диэлектриков, Металловедение, Квантовая теория твердого тела

Компетенция осваивается в процессе учебных и производственных практик и закрепляется в преддипломной практике. Проверка уровня сформированной компетенции происходит во время Государственной итоговой аттестации.

Компетенция формируется в процессе всех видов занятий: лекционного и семинарского типов, в процессе самостоятельной работы студентов, при написании курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

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 компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием соотнесенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине.

Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине.

Код и формулировка компетенции ПК-1 -

Способен планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено» Студент набрал от 0 –до 59 баллов	«Зачтено» Студент набрал от 60 – до 100 баллов
ПК-1.1 Знать планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Знает планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки: планирования и проведения научных исследований по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Студент знает или знает с незначительными ошибками: планирования и проведения научных исследований по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований
ПК-1.2 Уметь планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Умеет планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Студент не умеет или умеет с грубыми ошибками: планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	Студент умеет или умеет с незначительными ошибками: планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований
ПК-1.3 Владеть навыками планирования и проведения научных исследований	Владеет навыками планирования и проведения научных исследований по	Студент не владеет или владеет с грубыми ошибками: планирования и проведения научных исследований по	Студент владеет или владеет с незначительными ошибками: планирования и проведения научных исследований по

исследований по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований	перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований
--	--	--	--

Код и формулировка компетенции ПК-4-

Способен использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено» Студент набрал от 0 – до 59 баллов	«Зачтено» Студент набрал от 60 – до 100 баллов
ПК-4.1 <i>Знать</i> фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	<i>Знает</i> фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки: фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	Студент знает или знает с незначительными ошибками: фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий
ПК-4.2 <i>Уметь</i> использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности	<i>Умеет</i> использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы	Студент не умеет или умеет с грубыми ошибками: использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы	Студент умеет или умеет с незначительными ошибками: использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы

ой деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	материалов, технического контроля качества материалов и изделий	материалов, технического	материалов, технического
ПК-4.3 Владеть навыками исследования физических свойств материалов	Владеет навыками исследования физических свойств материалов	Студент не владеет или владеет с грубыми ошибками: навыками исследования физических свойств материалов	Студент владеет или владеет с незначительными ошибками: навыками исследования физических свойств материалов

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p>ПК-1.1; Знать планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований</p> <p>ПК-4.1 <i>Знать</i> фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий</p>	<p>Знать планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований</p> <p>Знать: Одномерные колебания однородной струны Упругие волны в монокристаллах. Колебания одноатомной линейной цепочки Колебания одномерной решетки с базисом Колебания атомов трехмерной решетки. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна Теория теплоемкости Дебая Фононы. Вывод формулы для теплоемкости. Теплоемкость металлов. Тепловое расширение твердых тел Теплопроводность твердых тел. Теплопроводность диэлектриков. Теплопроводность металлов</p>	<p>Тест, контрольная работа отчеты лабораторных работ</p>

	<p>Закон Видемана -Франца. Экспериментальные методы определения теплоемкости Экспериментальные методы определения теплопроводности. Экспериментальные методы измерения параметров теплового расширения Современные методы измерения теплоемкости, параметров теплового расширения и теплопроводности.</p>	
<p>ПК-1.2; Уметь планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований</p> <p>ПК-4.22 Уметь использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий</p>	<p>Уметь планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований , использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий</p>	<p>Тест, контрольная работа, отчеты лабораторных работ зачет</p>
<p>ПК-1.3; Владеть навыками планирования и проведения научных исследований по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований</p> <p>ПК-4.3 Владеть навыками исследования физических свойств материалов</p>	<p>Владеть навыками планирования и проведения научных исследований по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований, навыками исследования физических свойств материалов</p>	<p>Тест, контрольная работа, отчеты лабораторных работ зачет</p>

4.3. Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2

Примерные вопросы для зачета:

1. Одномерные колебания однородной струны
2. Упругие волны в монокристаллах.
3. Колебания одноатомной линейной цепочки
4. Колебания одномерной решетки с базисом
5. Колебания атомов трехмерной решетки.
6. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти.
7. Теория теплоемкости Эйнштейна
8. Теория теплоемкости Дебая
9. Фононы. Вывод формулы для теплоемкости.
10. Теплоемкость металлов.

11. Тепловое расширение твердых тел
12. Теплопроводность твердых тел.
13. Теплопроводность диэлектриков.
14. Теплопроводность металлов
15. Закон Видемана -Франца.
16. Экспериментальные методы определения теплоемкости
17. Экспериментальные методы определения теплопроводности.
18. Экспериментальные методы измерения параметров теплового расширения
19. Современные методы измерения теплоемкости, параметров теплового расширения и теплопроводности.

Тесты(вопросы)

Контрольные вопросы для письменной работы

Описание контрольной работы:

задание состоит из 5 задач по каждому разделу

1. Динамика решетки

1. Определить величину квазиимпульса фонона соответствующего частоте $\omega = 0,4\omega_{\max}$. Усредненное значение скорости звука в кристалле $\langle v \rangle = 2000$ м/с, характеристическая температура Дебая $\theta_D = 150$ К. Дисперсией звуковых волн в кристалле пренебречь.
Ответ: $P = 4,14 \cdot 10^{-25}$ Н·с.
2. Определить скорость звука в кристалле поваренной соли, зная, что температура Дебая равна 1670 К и $a = 1,04$ Å.
Ответ: $v = 7,24 \cdot 10^3$ м/с.
3. Определить максимальную энергию фононов, распространяющихся вдоль цепочки атомов с периодом решетки $a = 2,84$ Å со скоростью звука в кристалле 3000 м/с.
Ответ: $E_{\max} = 3,5 \cdot 10^{-21}$ Дж.
4. Вычислить минимальную длину волны Дебая в титане, если его характеристическая температура 278 К, а скорость распространения звука 6000 м/с.
Ответ: $\lambda_{\min} = 10,35$ Å.
5. Длина волны фонона, соответствующего частоте $\omega = 0,01\omega_{\max}$, равна 52 нм. Пренебрегая дисперсией звуковых волн, определить характеристическую температуру Дебая, если усредненное значение скорости звука в кристалле равно 4,8 км/с.
Ответ: $\theta = 443$ К.
6. Найти энергию фонона, соответствующего граничной частоте Дебая, если характеристическая температура Дебая равна 250 К.
Ответ: $E = 3,45 \cdot 10^{-21}$ Дж.
7. Найти отношение средней длины свободного пробега фононов к параметру решетки при комнатной температуре в кристалле хлористого натрия, если коэффициент теплопроводности его при той же температуре равен 71 Вт/м·К, скорость звука 5 км/с, плотность кристалла 2170 кг/м³, молярная масса хлора равна 35,46 г/моль, натрия – 29,99 г/моль.
Ответ: $\langle l/a \rangle = 44,8$.
8. Какова максимальная энергия фононов в кристалле свинца, если его характеристическая температура равна 94 К?

Ответ: $E_{\max} = 8,1 \cdot 10^{-3}$ эВ.

9. Характеристическая температура Дебая для вольфрама равна 310 К, а параметр решетки 3,16 Å. Определить длину волны фононов, соответствующих частоте $\nu = 0,1\nu_{\max}$. Вычислить усредненное значение скорости звука в вольфраме, дисперсией волн в кристалле пренебречь.

Ответ: $\lambda = 63,2$ Å; ν

2. Тепловые свойства

1. Удельная теплоемкость алюминия при 20 °С равна 896 Дж/(кг·К). Выполняется ли при этой температуре для него закон Дюлонга и Пти?

Ответ: не выполняется.

2. Удельные теплоемкости свинца и алюминия при постоянном объеме и температуре 20 °С составляют соответственно 126 и 896 Дж/(кг·К).

Молярная масса свинца равна 207,21 г/моль, алюминия – 26,99 г/моль.

Вычислить теплоемкости одного моля для каждого из них и сравнить со значениями, полученными по закону Дюлонга и Пти.

Ответ: $(C_V)_{Al} = 24,17$ Дж/моль·град; $(C_V)_{Pb} = 26,1$ Дж/моль·град.

3. Рассчитать значение теплоемкости твердого тела по теории Эйнштейна.

Ответ:

4. Имеется система N молекул, которые могут находиться в двух различных энергетических состояниях, отличающихся друг от друга

значением энергии ΔE . Определить теплоемкость такой системы.

Ответ:

5. Почему электронная теплоемкость неметаллов практически равна нулю?

6. Показать, что теплоемкость по теории Дебая достигает значения $3R$ при высоких температурах, когда $\Theta_D/T \rightarrow 0$.

7. Показать, что при низких температурах теплоемкость твердого тела по теории Дебая пропорциональна кубу абсолютной температуры.

8. Характеристическая температура золота 170 К. Определить постоянную квазиупругой силы. Молярная масса золота равна 197,2 г/моль.

Ответ: 88,7 кг/с².

9. Теплоемкость серебра при 10 К равна 199 Дж/(кмоль К). Определить характеристическую температуру.

Ответ: $\Theta = 213$ К.

10. Найти в общем случае разность теплоемкостей тела при постоянном давлении и постоянном объеме.

Ответ:

11. С помощью общих термодинамических соотношений установить связь между коэффициентом объемного расширения, объемной сжимаемостью и термической упругостью твердого тела.

Ответ: $\alpha/\chi = \gamma P$.

12. Показать, что при низких температурах коэффициенты термического расширения кристаллов стремятся к нулю.

13. Определить изменение внутренней энергии кристалла никеля при нагревании от температуры 0 °С до 200 °С. Масса кристалла составляет 10 г, молярная масса равна 58,69 г/моль.

Ответ: 1,70 кДж.

14. Определить теплоту, необходимую для нагревания кристалла NaCl массой $m = 10$ г на $\Delta T = 1$ К. Рассмотреть два случая:

1) нагревание происходит от температуры $T_1 = \Theta_D$;

- 2) нагревание происходит от температуры $T_2 = 1\text{К}$.
 Характеристическую температуру Дебая для NaCl принять равной $\Theta_D = 320\text{ К}$. Молярная масса натрия равна 22,99 г/моль, хлора 35,45 г/моль.
Ответ: $\Theta_{\Delta 1} = 4,08\text{ Дж}$; $\Theta_{\Delta 2} = 38\text{ мкДж}$.
15. Показать, что если смещение частиц в кристаллической решетке твердого тела подчиняется закону Гука $F(x) = -\beta x$, то тепловое расширение отсутствует.
16. Определить энергию и теплоемкость системы, состоящей из $N = 1025$ классических трехмерных независимых гармонических осцилляторов. Температура $T = \Theta_D = 300\text{ К}$.
Ответ: 124 кДж; 414 Дж/К. 137
17. Определить энергию системы, состоящей из $N = 1025$ квантовых трехмерных независимых осцилляторов при температуре $\Theta_E = 300\text{ К}$.
Ответ: 72,2 кДж.
18. Используя квантовую теорию теплоемкости Эйнштейна, вычислить изменение внутренней энергии одного моля кристалла при нагревании его на $\Delta T = 2\text{ К}$ от температуры $T = 1/2\Theta_E$.
Ответ: 36 Дж.
19. Определить максимальную частоту собственных колебаний в кристалле золота по теории Дебая. Характеристическая температура золота $\Theta_D = 180\text{ К}$.
Ответ: $2,37 \cdot 10^{13}\text{ Гц}$.
20. Используя квантовую теорию теплоемкости Дебая, вычислить изменение внутренней энергии одного моля кристалла при нагревании его на $\Delta T = 2\text{ К}$ от температуры $T = 1/2\Theta_D$.
Ответ: 484,7 Дж.
21. Пользуясь теорией теплоемкости Дебая, определить изменение внутренней энергии одного моля кристалла при нагревании его от нуля до $T = 0,1\Theta_D$. Характеристическую температуру Дебая принять равной 300 К. Считать, что $T \ll \Theta_D$.
Ответ: 14,54 Дж.
22. Вычислить по теории Дебая нулевую энергию одного моля кристалла меди. Характеристическая температура Θ_D для меди равна 320 К.
Ответ: $2,2 \cdot 10^{-21}\text{ Дж}$.
23. Какова удельная теплоемкость цинка при $100\text{ }^\circ\text{C}$? Молярная масса цинка равна 65,38 г/моль.
Ответ: $0,382 \cdot 10^{-3}\text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.
24. Найти коэффициент объемного расширения B для анизотропного кристалла, коэффициенты линейного расширения которого по трем взаимно перпендикулярным направлениям составляют $\alpha_1 = 1,25 \cdot 10^{-5}\text{ К}^{-1}$; $\alpha_2 = 1,10 \cdot 10^{-5}\text{ К}^{-1}$; $\alpha_3 = 1,15 \cdot 10^{-5}\text{ К}^{-1}$.
Ответ: $3,40 \cdot 10^{-5}\text{ К}^{-1}$.
25. Вычислить по теории Эйнштейна нулевую энергию, которой обладает один моль кристалла цинка. Характеристическая температура Θ_E для цинка равна 230 К.
Ответ: $2,2 \cdot 10^{-21}\text{ Дж}$.
26. Вычислить среднюю длину свободного пробега фононов в кварце при некоторой температуре, если при той же температуре коэффициент теплопроводности $\lambda = 13\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, молярная теплоемкость $C_M = 44\text{ кДж/(кмоль}\cdot\text{К)}$ и усредненное значение скорости звука $v = 5000\text{ м/с}$. Плотность кварца $\rho = 2,65 \cdot 10$

Критерии оценки (в баллах): 1 балл за 1 правильный ответ

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

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

Основная литература:

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк.; 2000. – 494 с.
2. Физическое материаловедение: *Учебник для вузов.*/Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2007.

Дополнительная литература:

3. Купрекова Е.И. Физика твердого тела. Сборник заданий: учебное пособие/Томск:Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 172 с.

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

А). Ресурсы Интернет.

Согласно ФГОС 7.3.4. Обучающимся должен быть обеспечен доступ (удаленный доступ), в том числе в случае применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий, к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определяется в рабочих программах дисциплин (модулей) и подлежит ежегодному обновлению

1. Электронная библиотечная система. ЭБ БашГУ. — Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://elib.bashedu.ru/>
2. Электронная библиотечная система. Университетская библиотека онлайн. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://biblioclub.ru/>
3. Электронная библиотечная система издательства .Лань. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://e.lanbook.com/>

4. Электронный каталог Библиотеки БашГУ — Справочно-поисковый аппарат библиотеки. Включает в себя систему каталогов и картотек, справочно-библиографический фонд. — <http://www.bashlib.ru/catalogi/>

Б)

Электронные ресурсы (дополнение списка литературы)

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

1. Учебные пособия, физический практикум, демонстрации. Кафедра общей физики физфака МГУ им. М.В. Ломоносова: <http://genphys.phys.msu.ru>
2. Физикам - преподавателям и студентам: <http://teachmen.csu.ru>
3. Физическая энциклопедия в 5-ти томах: <http://www.elmagn.chalmers.se>
4. Электронная библиотечная система «ЭБ БашГУ» – <https://elib.bashedu.ru/>
5. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» – <https://biblioclub.ru/>
6. Электронная библиотечная система издательства «Лань» – <https://e.lanbook.com/>
8. Электронный каталог Библиотеки БашГУ – <http://www.bashlib.ru/catalogi/>

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	http://www.ph4s.ru	Задачи по физике твердого тела. Под ред. Г. Дж. Гольдсмита.
2	http://www.twirpx.com	Давыдов А.С. Теория твердого тела
3	http://www.twirpx.com	Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике
4	http://www.biblioclub.ru/	

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

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
<i>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</i> аудитории № 318, 423 (физмат корпус)	Лекции, практические занятия	Доска, мел, сборники задач, мультимедиа-проектор, лаб. работы
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.
Читальный зал №4 (корпус биофака, 4 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 60.

Приложение № 1

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УУНиТ»

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Физика реальных кристаллов» на 8 семестр
очная

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	2/72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	70,2
лекций	20
практических/ семинарских	30
лабораторных	20
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу	0,2

обучающихся с преподавателем) (ФКР)	
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР) включая подготовку к экзамену/зачету	1,8
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль	

Форма(ы) контроля:
зачет ____ 8 ____ 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.)
		Всего	ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Модуль I									
1.	Одномерные колебания однородной струны Упругие волны в монокристаллах. Колебания одноатомной линейной цепочки .		2	4			1,2	3	
	Колебания одномерной решетки с базисом Колебания атомов трехмерной решетки.		4	6					
2.	Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна Теория теплоемкости Дебая Фононы. Вывод формулы для теплоемкости. Теплоемкость металлов. .		4	6	8		1,2	3	Решение задач

3.	. Теория теплоемкости Дебая Фононы. Вывод формулы для теплоемкости. Теплоемкость металлов		2	6		1	1,2	3	
4.	,							3,	Тестирование контрольная работа
...	Модуль II.								
5	Тепловое расширение твердых тел Теплопроводность твердых тел. Теплопроводность диэлектриков. Теплопроводность металлов Закон Видемана -Франца.		4	6			1, 2	3	Решение задач
6	Экспериментальные методы определения теплоемкости Экспериментальные методы определения теплопроводности. Экспериментальные методы измерения параметров теплового расширения Современные методы измерения теплоемкости, параметров теплового расширения и теплопроводности		4	2	12	0, 8	1,2;	3	контрольная работа
	Всего часов:		20	30	20	1,8			

Рейтинг – план дисциплины

Экспериментальные методы теплофизики

Направление 03.03.02.Физика

курс 4, семестр 8

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1				50
Текущий контроль				
1. Решение задач	1	5	0	5
2. Лабораторная работа	10	2	0	20
3. Письменный опрос...	2	5	0	10
Рубежный контроль				
1. Письменная контрольная работа	3	5	0	15
Модуль 2				50
Текущий контроль				
1. Решение задач	1	5	0	5
2. Лабораторная работа	10	2	0	20
3. Тест	0,75	20	0	15
Рубежный контроль				
1. Письменная контрольная работа	2	5	0	10
Поощрительные баллы				
1. Студенческая олимпиада				10
Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
1. Посещение лекционных занятий			0	-6
2. Посещение практических (семинарских, лабораторных занятий)			0	-10
Итоговый контроль				
Зачет			60	100