

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено
на заседании кафедры
протокол № 1 от «31» августа 2020г

Согласовано:
Председатель УМК ФТИ

Зав. кафедрой Балапанов М.Х./__



Балапанов М.Х./__



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Дисциплина Экспериментальные методы теплофизики

(наименование дисциплины)

_____ вариативная _____

(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))

программа бакалавриата

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 Физика

(код и наименование направления подготовки (специальности))

Направленность (профиль) подготовки

«Физика конденсированного состояния вещества»

(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: 2020 г.

Уфа 2020г.

Составитель: Ишембетов Р.Х.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры № 1 от «31» августа 2020г

Заведующий кафедрой



_____ / Балапанов М.Х.

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	
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 с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	
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	
4.3. <i>Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)</i>	
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	
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	
7. Приложение 1	
8. Приложение 2	

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

При изучении дисциплины «Экспериментальные методы теплофизики» у обучающегося должны формироваться следующие компетенции:

ОПК-3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

ПК-1 - способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Результаты обучения ¹		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	Знать: 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;	ОПК-3-способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	
	Знать основные навыки работы с компьютером как со средством управления информацией Программные средства для работы с физико-математической информацией	ОПК-5 способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией	
	Знать современные методы обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированного состояния	ПК-5 способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	
Умения	Уметь: 1. производить отбор экспериментальных методов,	ОПК-3-способностью использовать базовые теоретические знания	

¹ Должны соответствовать картам компетенций.

	<p>аппаратуры, методик измерений, наиболее адекватных для решения конкретных прикладных задач;</p> <p>2. применять основные методы исследования тепловых свойств твердых тел, кристаллов.</p> <p>3. осуществлять анализ и интерпретацию результатов исследования</p>	<p>фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	
	<p>понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию. Пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики.</p>	<p>ОПК-5 способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией</p>	
	<p>пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированного состояния</p>	<p>ПК-5 способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований</p>	
Владения (навыки / опыт деятельности)	<p>физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области общей физики</p>	<p>ОПК-3 способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	
	<p>навыками работы с компьютером как средством управления информацией, приемами работы с офисным и другим программным обеспечением, навыками получения, хранения, переработки информации.</p>	<p>ОПК-5 способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией</p>	
	<p>навыками пользования современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированного состояния</p>	<p>ПК-5 способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований</p>	

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Экспериментальные методы теплофизики» относится к *вариативной* части.

Дисциплина изучается на *Зкurse(ax)* в 5 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 с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции

ОПК-3-способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (знания)	Знать: теорию динамики решетки, теорию теплоемкости Дебая, теорию Эйнштейна, теорию теплопроводности, механизмы теплового расширения, основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел; 2. основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел; 3. фундаментальные понятия, терминологию теории;	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	Знает всё
Второй этап (умения)	Уметь: 1. производить отбор экспериментальных методов, аппаратуры, методик измерений, наиболее адекватных для решения конкретных прикладных задач; 2. применять основные методы исследования тепловых свойств твердых тел, кристаллов. 3. осуществлять анализ и интерпретацию результатов исследования	Не умеет	Умеет, но допускает значительные ошибки	Умеет, допускает незначительные ошибки	Умеет в совершенстве
Третий этап (владения навыками)	Владеть: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; современной терминологией и знаниями о свойствах твердых тел	Не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

ОПК-5 -способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством

управления информацией

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (знания)	Знать основные навыки работы с компьютером как со средством управления информацией Программные средства для работы с физико-математической информацией	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	Знает всё
Второй этап (умения)	Уметь: применять знания в области классической и квантовой механики, термодинамики, электромагнетизма, оптики для анализа физических явлений и процессов в сложных системах.	Не умеет	Умеет, но допускает значительные ошибки	Умеет, допускает незначительные ошибки	Умеет в совершенстве
Третий этап (владения навыками)	Владеть: навыками использования специализированных методов решения задач физики и междисциплинарных задач.	Не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

ПК-5 способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (знания)	Знать: современные методы обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированного состояния	Имеет отрывочными знаниями пользовании современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области	В целом знает о пользовании современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических	Знает о пользовании современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физических	Знает о пользовании современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физических

		области физических исследований	исследований	исследований, допускаются небольшие ошибки	исследований
Второй этап (умения)	Уметь: пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированного состояния ...	Не умеет пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Умеет пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований но допускает значительные ошибки	Умеет пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований но допускает незначительные ошибки	Способен пользоваться современным и методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
Третий этап (владения навыками)	Владеть: навыками пользования современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированного состояния	Не владеет навыками пользования современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Недостаточно владеет навыками пользования современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Владеет пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований но допускает незначительные ошибки	Владеет способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований

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 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

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
----------------	---------------------	-------------	--------------------

<p>1-й этап</p> <p>Знания</p>	<p>Знать: Одномерные колебания однородной струны</p> <p>Упругие волны в монокристаллах.</p> <p>Колебания одноатомной линейной цепочки</p> <p>Колебания одномерной решетки с базисом</p> <p>Колебания атомов трехмерной решетки.</p> <p>Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти.</p> <p>Теория теплоемкости Эйнштейна</p> <p>Теория теплоемкости Дебая</p> <p>Фононы. Вывод формулы для теплоемкости.</p> <p>Теплоемкость металлов.</p> <p>Тепловое расширение твердых тел</p> <p>Теплопроводность твердых тел.</p> <p>Теплопроводность диэлектриков.</p> <p>Теплопроводность металлов</p> <p>Закон Видемана -Франца.</p> <p>Экспериментальные методы определения теплоемкости</p> <p>Экспериментальные методы определения теплопроводности.</p> <p>Экспериментальные методы измерения параметров теплового расширения</p> <p>Современные методы измерения теплоемкости, параметров теплового расширения и теплопроводности.</p>	<p>ОПК-3, ОПК-5, ПК-5</p>	<p>контрольная работа</p> <p>лабораторная работа</p> <p>экзамен</p>
-------------------------------	---	---------------------------	---

2-й этап Умения	1. понимать, излагать и критически анализировать информацию по теплофизике; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями; применять полученные знания в научно-исследовательских работах и в прикладных задачах профессиональной деятельности;	ОПК-3, ОПК-5, ПК-5	контрольная работа лабораторная работа экзамен
3-й этап Владеть навыками	Владеть методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; современной терминологией и знаниями т	ОПК-3, ОПК-5, ПК-5	контрольная работа лабораторная работа экзамен

4.3. Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2. вал

Экзаменационные билеты

Структура экзаменационного билета:

Билет состоит из 1х теоретического вопроса и задачи

Примерные вопросы для экзамена:

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.

Форма экзаменационного билета

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1
по дисциплине Экспериментальные методы теплофизики
Направление 03.03.02 Физика
Профиль Физика конденсированного состояния вещества

1. Одномерные колебания однородной струны
2. Современные методы измерения теплоемкости.

Утверждено на заседании кафедры _____, протокол № ____
(дата)

Заведующий кафедрой _____ Балапанов М.Х.
(подпись)

В рамках использования модульно-рейтинговой системы обучения и оценки успеваемости студентов итоговая оценка знаний студента по дисциплине производится по сумме баллов, полученных в рамках текущего и рубежного контроля знаний, умений и навыков в течение семестра, и баллов, полученных на экзамене.

За работу в семестре студент получает до 70 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за результаты участия в олимпиаде студентов по общей физике. Для допуска к экзамену студент должен набрать в семестре не менее 35 баллов.

Максимальное количество баллов, получаемое студентом на экзамене, составляет 30 баллов.

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно – менее 45 баллов.

Критерии оценивания ответа на экзамене:

Максимальная оценка – 30 баллов складывается из оценки за ответ на теоретические вопросы билета (два вопроса оцениваются максимально по 10 баллов каждый), и оценок за ответы на дополнительные вопросы (два вопроса, оцениваемых каждый в 5 балла максимально).

За ответы на вопросы билета выставляется

- **15-20 баллов**, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание формул, терминологии, понимание физической сути явлений и экспериментов, умение последовательно и логично отвечать на вопросы билета в объеме рекомендованной литературы.

Студент без затруднений ответил на уточняющие вопросы преподавателя по материалам билета.

- **10-14 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл без серьезных ошибок оба теоретических вопроса, однако показал пробелы в знаниях 20-25 % объема билета. Не на все уточняющие вопросы были даны корректные ответы.

- **5-9 баллов** выставляется студенту, если даны ответы на оба теоретических вопроса в объеме 35-50 % от полного ответа. Студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий, законов и формул, описании основных экспериментов. Студент не дает удовлетворительных ответов на уточняющие вопросы по билету.

- **1-4 балла** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий, законов и экспериментов, или полностью отсутствует ответ на один вопрос и допущены серьезные ошибки и пробелы при ответе на второй вопрос. На уточняющие вопросы по билету не получены ответы или ответы на них в корне ошибочны.

За ответ на дополнительный вопрос экзамене выставляется:

- 5 балла, если студент дал исчерпывающе полный и правильный ответ;

- 3 балла, если ответ верен, но дан не в полном объеме учебной программы, или содержит незначительные ошибки;

- 1 балл, если ответ на вопрос дан, но содержит серьезные ошибки или большие пробелы в изложении;

- 0 баллов, если студент не ответил или ответил в корне неверно.

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: $\theta = 443 \text{ К}$.

6. Найти энергию фонона, соответствующего граничной частоте Дебая, если характеристическая температура Дебая равна 250 К.

Ответ: $E = 3,45 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$.

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

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: $\lambda = 63,2 \text{ Å}$; 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: $(C_V)_{Al} = 24,17 \text{ Дж/моль·град}$; $(C_V)_{Pb} = 26,1 \text{ Дж/моль·град}$.

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: $\Theta = 213 \text{ К}$.

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 сжимаемости 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°C до 200°C . 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 $T_2 = 1$ К.

Характеристическую температуру Дебая для NaCl принять равной

$\Theta_D = 320$ К. Молярная масса натрия равна 22,99 г/моль, хлора 35,45 г/моль.

Ответ: $\Theta\Delta 1 = 4,08$ Дж; $\Theta\Delta 2 = 38$ 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 $T = \Theta_D = 300$ К.

Ответ: 124 кДж; 414 Дж/К. 137

17. Определить энергию системы, состоящей из $N = 1025$ квантовых трехмерных независимых осцилляторов при температуре

$\Theta_E = 300$ К.

Ответ: 72,2 кДж.

18. Используя квантовую теорию теплоемкости Эйнштейна, вычислить

изменение внутренней энергии одного моля кристалла при нагревании его на $\Delta T = 2$ 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 Θ

$D = 180$ К.

Ответ: $2,37 \cdot 10^{13}$ Гц.

20. Используя квантовую теорию теплоемкости Дебая, вычислить изменение внутренней энергии одного моля кристалла при нагревании его на $\Delta T = 2$ 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: $2,2 \cdot 10^{-21}$ Дж.

23. Какова удельная теплоемкость цинка при 100 °С? Молярная масса цинка равна 65,38 г/моль.

Ответ: $0,382 \cdot 10^{-3}$ Дж/кг·К.

24. Найти коэффициент объемного расширения V 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: $2,2 \cdot 10^{-21}$ Дж.

26. Вычислить среднюю длину свободного пробега фононов в кварце при некоторой температуре, если при той же температуре коэффициент теплопроводности $\lambda = 13 \text{ Вт/(м·К)}$, молярная теплоемкость $C_m = 44 \text{ кДж/(кмоль·К)}$ и усредненное значение скорости звука $v = 5000 \text{ м/с}$. Плотность кварца $\rho = 2,65 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

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
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Физика реальных кристаллов» на 6 семестр
очная

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	55,2
лекций	18
практических/ семинарских	18
лабораторных	18
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу	1,2

обучающихся с преподавателем) (ФКР)	
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР) включая подготовку к экзамену/зачету	27
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль	25,8

Форма(ы) контроля:
экзамен _____ 5 _____ 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	2		4	1,2	3	
	Колебания одномерной решетки с базисом Колебания атомов трехмерной решетки.		2	2					
2.	Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга- Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна Теория теплоемкости Дебая Фононы. Вывод формулы для теплоемкости. Теплоемкость металлов. .		4	4	8	10	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	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		10	7	1,2;	3	контрольная работа
	Всего часов:		18	18	18	27			

Рейтинг – план дисциплины

Экспериментальные методы теплофизики

Направление 03.03.02.Физика

курс 3, семестр5

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1				35
Текущий контроль				
1. Решение задач	1	5	0	5
2. Лабораторная работа	5	1	0	5
3. Письменный опрос...	2	5	0	10
Рубежный контроль				
1. Письменная контрольная работа	3	5	0	15
Модуль 2				35
Текущий контроль				
1. Решение задач	1	5	0	5
2. Лабораторная работа	5	2	0	10
3. Письменный опрос...	1	5	0	5
Рубежный контроль				
1. Письменная контрольная работа	3	5	0	15
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				
Экзамен			0	30