

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Физико-технический институт

Утверждено:  
на заседании кафедры общей физики  
протокол № 8 от « 16 » июня 20 17 г.  
г.

Зав. кафедрой



/Балапанов М.Х.

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ



/Балапанов М.Х.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Исследование теплофизических свойств твердых тел**

—  
(наименование дисциплины)

дисциплина по выбору Б1.В.ДВ5  
вариативная часть

Направление подготовки

03.04.02 ФИЗИКА

(наименование ОП ВО направления подготовки или специальности с указанием кода)

Направленность (профиль) подготовки

Физика конденсированного состояния вещества(магистратура)

Квалификация

**магистр**

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

Для приема: 2017г.

Уфа 2017 г.

Составитель: доцент Ишембетов Р.Х

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры общей физики « 16 »  
июня 20 17 г. протокол № 8

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на  
заседании кафедры общей физики: актуализированы обязательная и дополнительная  
литература, рейтинг-план;  
протокол № 6 от «6» июня 20 18 г.

Заведующий кафедрой

 / Балапанов М.Х. Ф.И.О/

:СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

	Рабочая программа дисциплины (титульный лист)	1
1.	Цели и задачи освоения дисциплины	3
2	Место дисциплины в структуре ОП ВО	3
3	Требования к результатам освоения содержания дисциплины	4
4	Содержание и структура дисциплины (модуля)	5
4.1	Объем дисциплины и виды учебной работы	5
4.2	Тематический план дисциплины	6
4.3	Рабочая программа дисциплины	6
4.4	Тематика лабораторных работ	15
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	17
6	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	18
7	Контрольно-оценочные материалы, формы и критерии контроля знаний	19
8	Методические рекомендации для студентов	25
9	Материально-техническое обеспечение дисциплины	31
10	Приложение 1	

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

При изучении дисциплины «Исследование теплофизических свойств твердых тел» у обучающегося должны формироваться следующие компетенции:

ПК-2 – способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные и приоритетные направления научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения</li> <li>-теорию теплоемкости Дебая, Эйнштейна, теорию теплопроводности, механизмы теплового расширения,</li> <li>- основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел;</li> <li>-фундаментальные понятия, терминологию теории;</li> </ul>	ПК-2	
Умения	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-производить отбор экспериментальных методов, аппаратуры, методик измерений, наиболее адекватных для решения конкретных прикладных задач;</li> <li>- применять основные методы исследования тепловых свойств твердых тел, кристаллов.</li> <li>- осуществлять анализ и интерпретацию результатов исследования</li> </ul>	ПК-2	
Владения (навыки / опыт деятельности)	<p>Владеть базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или</p>	ПК-2	

	в составе небольшой научной группы ..		
--	--	--	--

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

Дисциплина «Исследование теплофизических свойств твердых тел» относится к *вариативной* части рабочего учебного плана.

Дисциплина изучается на 2 курсе в 4 семестре.

Цели изучения дисциплины: «Исследование теплофизических свойств твердых тел» изучение методов описания теплового движения кристаллической решетки и свободных электронов в твердых телах; изучение основных моделей теплоемкости диэлектрических и металлических кристаллов; Изучение основывается на знаниях, полученных при освоении математического и естественнонаучного цикла, а также предшествующих дисциплин профессионального цикла. Дисциплина «Теплофизические свойства твердых тел» 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.

## 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 ПК-2

-способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
		Студент набрал от 0 –до 59 баллов	Студент набрал от 60 – до 100 баллов
Первый этап (знания)	Знать: теорию теплоемкости Дебая, Эйнштейна, теорию теплопроводности, механизмы теплового	теорию теплоемкости Дебая, Эйнштейна, теорию теплопроводности, механизмы теплового	теорию теплоемкости Дебая, Эйнштейна, теорию теплопроводности, механизмы теплового

	<p>расширения, -основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел; -фундаментальные понятия, терминологию теории; -основные и приоритетные направления научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения ...</p>	<p>расширения, -основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел; -фундаментальные понятия, терминологию теории; -основные и приоритетные направления научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения ...</p>	<p>расширения, -основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел; -фундаментальные понятия, терминологию теории; -основные и приоритетные направления научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения ...</p>
<p>Второй этап (умения )</p>	<p>Уметь решать типовые и нестандартные задачи по выбранной направленности подготовки (физика конденсированного состояния, физическое материаловедение</p>	<p>Студент не умеет или умеет с грубыми ошибками: решать типовые и нестандартные задачи по выбранной направленности подготовки (физика конденсированного состояния, физическое материаловедение</p>	<p>Студент умеет или умеет с незначительными ошибками: решать типовые и нестандартные задачи по выбранной направленности подготовки (физика конденсированного состояния, физическое материаловедение</p>
<p>Третий этап (владения навыками)</p>	<p>Владеть: базовыми навыками проведения научно- исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой научной группы .</p>	<p>Студент не владеет или владеет с грубыми ошибками: базовыми навыками проведения научно- исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой научной группы .</p>	<p>Студент владеет или владеет с незначительными ошибками: базовыми навыками проведения научно- исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой научной группы .</p>

**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
1-й этап Знания	Знать: -теорию теплоемкости Дебая, Эйнштейна, теорию теплопроводности, механизмы теплового расширения, -основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел; -фундаментальные понятия, терминологию теории; - основные и приоритетные направления научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения	ПК-2	- письменные работы по теоретическому материалу; -собеседование; -решение задач;
2-й этап Умения	Уметь: -производить отбор экспериментальных методов, аппаратуры, методик измерений, наиболее адекватных для решения конкретных прикладных задач; - применять основные методы исследования тепловых свойств твердых тел, кристаллов. - осуществлять анализ и интерпретацию результатов исследования	ПК-2	- письменные работы по теоретическому материалу; -собеседование; -решение задач;

3-й этап	Владеть базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме под научным руководством или в составе небольшой научной группы ..	ПК-2	- письменные работы по теоретическому материалу; -собеседование; -решение задач;
----------	--	------	--

Примеры письменных работ для проверки знаний по компетенции

1. Дать характеристику распределению нормальных колебаний по частотам. Привести график зависимости  $N(\omega)$ .

2. Дать характеристику акустическим колебаниям кристаллической решётки. Привести дисперсионные кривые продольных и поперечных колебаний. Скорость каких колебаний выше продольных или поперечных? Почему?

3. Дать сравнительную характеристику акустических и оптических колебаний кристаллической решётки.

4. Объяснить физически вид дисперсионных зависимостей  $\omega(q)$  для оптических и акустических колебаний.

5. Какие факторы определяют теплопроводность кристалла?

6. Получить соотношение, связывающее линейный КТР  $\alpha_l$  с теплоёмкостью решётки  $C_{реш}$ .

7. Что такое фонон? Рассмотреть основные свойства фононов.

8. Что называется теплоёмкостью твёрдого тела? Чем она определяется в случаях металла, полупроводника примесного и собственного?

9. Дать определение теплоёмкости электронного газа. Сравнить  $C_{эл}$  и  $C_{реш}$  в металлах и полупроводниках при различных температурах.

10. Объяснить зависимость решёточной теплоёмкости кристалла  $C_{реш}$  от температуры  $T$ .

11. Доказать, что при постоянной температуре  $T$  для легированных полупроводников отношение коэффициента теплопроводности электронного газа  $K_{эл}$  и электропроводности  $\sigma$  равно константе.

12. Получить закон Дюлонга-Пти для молярной теплоёмкости решётки.

13. Получить закон Дебая для молярной теплоёмкости решётки кристалла.

14. Чем определяется характер поведения КТР в области низких и высоких температур? Привести соответствующий график, указать на нем температуру Дебая.

15. Как зависит концентрация фононов в кристалле от температуры? Рассмотреть случаи низких и высоких температур.

16. Что называется теплопроводностью твёрдого тела? Чем она характеризуется? Чем осуществляется теплопроводность в случаях металла, полупроводника примесного и собственного?

17. Как зависит коэффициент теплопроводности кристаллической решётки от температуры? Объяснить.

18. Дать определение теплопроводности электронного газа. Сравнить  $K_{эл}$  и  $K_{реш}$  в металлах и полупроводниках.

19. Объяснить характер температурной зависимости коэффициента теплопроводности электронного газа в проводниках.

20. Объяснить, почему теплоёмкость электронного газа в проводниках при низких температурах намного меньше, чем для газа, состоящего из классических частиц.

21. Дать физическое объяснение механизму теплового расширения твёрдых тел? Может ли

КТР быть отрицательным? Если да, то объяснить причину.

22. Дать сравнительный анализ законам Дюлонга-Пти и Дебая.

23. Какими параметрами материала определяется величина и знак коэффициента теплового расширения (КТР)? Каким образом можно влиять на величину КТР?

24. Доказать, что между температурными коэффициентами сопротивления проводника  $\alpha_R$ , удельного сопротивления материала  $\alpha_r$  и коэффициентом линейного расширения  $\alpha_l$  существует следующая взаимосвязь:  $\alpha_r = \alpha_R + \alpha_l$

25. Почему в области низких температур ( $T < \theta$ ) следует учитывать квантовые свойства при описании тепловых колебаний кристалла?

26. Объяснить температурную зависимость коэффициента теплового расширения  $\alpha_l(T)$ .

27. Какие результаты, полученные при рассмотрении модели гармонического осциллятора, можно использовать применительно к описанию тепловых колебаний частиц в кристалле?

28. Какие колебания кристаллической решётки называются оптическими? Привести и объяснить вид дисперсионных кривых для этих колебаний.

29. Объяснить физический смысл температуры Дебая. Чем определяется значение температуры Дебая для данного вещества?

30. Почему при низких температурах решёточная теплоёмкость кристалла не остается постоянной?

### Структура письменного ответа:

Устный опрос состоит из 5 теоретических вопросов, на которые студент должен в течение 45 минут дать в устном виде или в письменном виде развернутый ответ.

#### Критерии оценки (в баллах):

– **5 балла** выставляется студенту, если ответ выполнен по всем требованиям, аккуратно и без ошибок;

– **3 балла** выставляется студенту, если ответ выполнен по требованиям, но неаккуратно и допущены ошибки;

– **0 баллов** выставляется студенту, если отчет не выполнен.

### Задания для оценивания результатов обучения в виде умений (решение задач)

Студент на выбор решает 10 задач из предложенных 27.

#### Критерии оценки (в баллах):

– **5 балла** выставляется студенту, если ответ выполнен по всем требованиям, аккуратно и без ошибок;

– **3 балла** выставляется студенту, если ответ выполнен по требованиям, но неаккуратно и допущены ошибки;

– **0 баллов** выставляется студенту, если отчет не выполнен.

7.1. Определить температуру Дебая для трёхмерного кристалла, состоя-

щего из атомов одного сорта. Равновесные положения атомов находятся в вершинах прямоугольных кристаллических ячеек. Концентрация атомов (число их, приходящееся на единицу объёма)  $N = 1,25 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Скорость распространения акустических волн в кристалле  $v = 3 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ .

7.2. Зная температуру Дебая  $\Theta = 365 \text{ К}$  и плотность  $\rho = 5,32 \text{ г/см}^3$  германия (Ge), определить

максимальное значение энергии и квазиимпульса акустического фонона, если известно, что германий имеет решётку типа алмаза.

7.3. Оценить максимальные значения энергии и квазиимпульса акустического фонона алюминия, если температура Дебая  $\Theta = 374 \text{ К}$ , его плотность  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ , молярная масса  $M = 26,98 \text{ г/моль}$ . Алюминий имеет ГЦК решётку.

7.4. Какое число фононов максимальной частоты возбуждается в среднем в кристалле при температуре  $T = 400 \text{ К}$ , если температура Дебая  $\Theta = 200 \text{ К}$ ?

7.5. Оценить интервал энергии фононов кристалла алюминия, имеющего форму куба с ребром  $1 \text{ м}$ .

7.6. Определить температуру Дебая и максимальную энергию фонона

а для серебра (Ag), если известно, что при температуре  $65 \text{ К}$  его молярная теплоёмкость  $C = 15 \text{ Дж/моль К}$ .

$\rho = 10,5$

7.7. Атомная масса серебра  $M = 107,9 \text{ г/моль}$ , плотность  $\rho = 10,5 \text{ г/см}^3$ .

Оценить максимальное значение импульса фонона  $p_{\text{max}}$  в кристалле серебра.

7.8. Определить время релаксации, среднюю длину свободного пробега электронов дрейфовую скорость в поле  $E = 100 \text{ В/м}$  для натрия при температуре  $300 \text{ К}$ , если

107

его теплопроводность  $K = 150 \text{ Вт/мград}$ , а концентрация носителей заряда  $10^{24} \text{ м}^{-3}$ . 3.7. 9. Определить максимальную частоту тепловых колеба-

ний в решётке меди с постоянной решётки  $a = 3,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . Скорость распространения звука принять  $v = 3550 \text{ м/с}$ .

7.10. Оценить скорость звука в кристалле, дебаевская температура которого  $\Theta = 300 \text{ К}$  и межатомное расстояние которого  $a = 0,25 \text{ нм}$ .

7.11. При давлении  $P = 10^{13} \text{ ГПа}$  аргон затвердевает при температуре, равной  $84 \text{ К}$ . Температура Дебая для аргона  $\Theta = 92 \text{ К}$ . Экспериментально установлено, что при  $T_1 = 4,0 \text{ К}$  молярная теплоёмкость аргона  $C_1 = 1,74 \text{ Дж/моль К}$ . Определить значение молярной теплоёмкости аргона  $C_2$  при  $T_2 = 2,0 \text{ К}$ .

7.12. Медная плёнка напыляется на ситалловую подложку при температуре  $573 \text{ К}$ . Оценить уровень и знак внутренних термических напряжений в плёнке при температуре  $300 \text{ К}$ , если температурные коэффициенты линейного расширения меди и ситалла соответственно равны  $\alpha_{\text{Cu}} = 16,5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ,  $\alpha_{\text{C}} = 8,3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , модуль Юнга для меди  $E_{\text{Cu}} = 112 \text{ ГПа}$ , коэффициент Пуассона равен  $0,28$ .

7.13. Теплоёмкость серебра при 10 К равна 199 Дж/град. Определить температуру Дебая для серебра. Концентрация носителей заряда  $n = 2,04 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$ .

7.14. Вычислить количество теплоты, которое требуется сообщить 100 г железа для нагревания от 100 до 200 К. Температура Дебая железа равна 450 К.

7.15. Для кристалла алюминия с концентрацией свободных электронов  $6,0 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$  найти отношение теплоёмкостей электронного газа и кристаллической решётки при 300 К, если температура Дебая  $\Theta = 418 \text{ К}$ .

7.16. Определить температуру  $T$ , при которой теплоёмкость электронного газа с концентрацией свободных электронов  $6,0 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$  станет равной теплоёмкости решётки серебра, если дебаевская температура  $\Theta = 210 \text{ К}$ .

7.17. В цоколь электровакуумного прибора при температуре  $T_1 = 400^\circ\text{C}$  вваривается вывод из сплава 36Н (инвар).

Оценить уровень и знак внутренних напряжений в стекле при  $T_2 = 25^\circ\text{C}$ , если известно, что для инвара температурный коэффициент линейного расширения

$\alpha = 1,53 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ,  
а для стекла

$1,47 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ . Модуль Юнга для инвара и коэффициент Пуассона принять соответственно  $E_{\text{ин}} = 350 \text{ ГПа}$ ,  $\mu = 0,3$ . Оценить прочность слоя, если известно, что предел прочности стекла на растяжении  $\sigma_{\text{в}} = 80 \text{ МПа}$ .

108

7.18. Приняв для серебра значение температуры Дебая  $\Theta = 418 \text{ К}$ , определить: а) максимальное значение энергии фонона  $E_{\text{мах}}$ ; б) среднее число фононов с энергией  $E_{\text{мах}}$  при температуре  $T = 300 \text{ К}$ .

7.19. Объяснить, почему теплоёмкость газа свободных электронов при низких температурах  $T \ll \Theta$  много меньше, чем для газа, состоящего из классических частиц. Чему равняется отношение  $\frac{C_{\text{эл}}}{C_{\text{кл}}}$  для натрия при

Скл

$T = 300 \text{ К}$ ? Энергия уровня Ферми для натрия равна 3,2 эВ.

7.20. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при  $20^\circ\text{C}$  равно 350 Ом. Какой будет температура нити лампочки, если при включении в сеть с напряжением 220 В в рабочем режиме по нити течёт ток

0,6 А? Температурный коэффициент  $\alpha = 4,4 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ,  $\alpha_{\text{ар}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ . 7.21. Определить приближенно скорость звука в алмазе, зная, что температура Дебая  $\Theta = 1860 \text{ К}$ , решётка кубическая с постоянной  $a = 1,54 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

7.22. Оценить теплоёмкость электронного газа в меди ( $E_F \approx 3,2$  эВ) при  $100^\circ\text{C}$  и сравнить её с теплоёмкостью решётки.

7.23. Оценить максимальную частоту тепловых колебаний кристаллической решётки меди, у которой при температуре  $T_{\text{ср}}$  отличается от классического значения на 25%.

7.24. Оценить удельную теплоёмкость решётки натрия (Na) при  $T = 300$  К. Концентрация свободных электронов  $n = 2,5 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ , скорость движения электронов  $v_F = 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ , длина свободного пробега электронов  $F = 10^{-8} \text{ м}$ .

7.25. Вычислить удельную теплопроводность меди при  $T = 300$  К по измеренному значению её удельного сопротивления  $\rho = 0,017 \text{ мкОм м}$ .

7.26. Оценить коэффициент теплопроводности серебра и ртути при температуре  $T = 300$  К, если известно, что удельные сопротивления при этой температуре соответственно равны  $\rho_{\text{Ag}} = 0,016 \text{ мкОм м}$ ;  $\rho_{\text{Hg}} = 0,96 \text{ мкОм м}$ .

7.27. Определить, во сколько раз изменится удельная теплоёмкость меди при изменении температуры от  $20$  до  $200^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент удельного сопротивления меди принять  $\alpha_\rho = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .

### Примерные вопросы для проведения устного опроса:

Теория теплоемкости Дебая, Эйнштейна, теория теплопроводности, механизмы теплового расширения, - основные экспериментальные методы исследования теплоемкости, теплопроводности, коэффициента теплового расширения твердых тел;

#### **Критерии оценки (в баллах):**

– **25 баллов** выставляется студенту, если ответ выполнен по всем требованиям, аккуратно и без ошибок;

– **20 баллов** выставляется студенту, если ответ выполнен по требованиям, но неаккуратно и допущены ошибки;

– **0 баллов** выставляется студенту, если отчет не выполнен.

### . Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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

В библиотеке Башкирского государственного университета имеются в наличии следующие издания:

#### **Основная литература:**

1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] / Гольдаде В. А. — Минск : Белорусская наука, 2009 .— 648 с. — Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему «Университетская библиотека online» .— <URL:<http://www.biblioclub.ru/book/93309/>>.
2. Павлов П. В. Физика твердого тела : уч. пособие для вузов по спец."Физика" / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов .— М. : Высшая школа, 1985,

2000 г. — 384с. (8 +7экз)

### Дополнительная литература:

3. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель ; под ред. А. А. Гусева. — М. : Наука, 1978. — 791 с. [28 экз]

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

1. «Электронная библиотека БашГУ» <https://elib.bashedu.ru>
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.bashlib.ru/echitzal/>
3. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>
4. Научная электронная библиотека Elibrary.ru <https://elibrary.ru/>
5. Web of Science Core Collection <http://apps.webofknowledge.com/>
6. Scopus <http://www.scopus.com/>
7. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>);

#### Программное обеспечение:

1. Windows Professional 8 Russian Upgrade OLP NL Academic Edition.
2. Программа для ЭВМ Office Standard 2013 Russian OLP NL Academic Edition.
3. Браузер Google Chrome (лицензия BSD, свободное программное обеспечение).

### **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
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<i>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</i> аудитории № 322 или № 324 или № 318 (физмат корпус)	Лекции, практические занятия	Доска, мел, сборники задач, Мультимедиа-проектор
Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, 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, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Исследование теплофизических свойств твердых тел» на 4 семестр  
(наименование дисциплины)

дневная  
форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	2 / 72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	22,7
лабораторных	
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	49.3
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	0

№ 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.	Одномерные колебания однородной струны	2			6	1	Проработка лекций, изучение литературы, решение задач	Письменный ответ, решение задач, устный опрос
2.	Колебания одноатомной линейной цепочки		2			6		
3.	Колебания одномерной решетки с базисом	2			6	1,2		
4.	Колебания трехмерной решетки. Фононы		2			6		
5.	Теплоемкость твердых тел. Теория теплоемкости Эйнштейна	2	2		6	1,2		
6.	Теория теплоемкости Дебая		2			7		
7.	Теплопроводность твердых тел...	2	2		6	1,2,3		
8.	Термическое расширение твердых тел	2	2		6	1,2		
<b>Всего часов:</b>		10	12		49			

