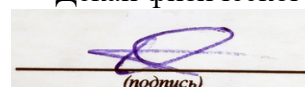


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике  
в ЯФ ФГБУН ФТИАН им. К. А. Валиева РАН

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



(подпись)

И.С. Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Теплофизические свойства твердых тел»**

Направление подготовки  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)  
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения  
Очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры

от « 30 » марта 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК  
физического факультета

протокол № 5 от « 25 » апреля 2023 года

Ярославль

### **1. Цели освоения дисциплины**

Целью курса «Теплофизические свойства твердых тел» является изучение методов описания теплового движения кристаллической решетки и свободных электронов в твердых телах. В задачи курса также входит изучение основных моделей теплоемкости и описание явлений переноса энтропии в твердых телах электронной и фононной системами.

### **2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата**

Дисциплина «Теплофизические свойства твердых тел» относится к вариативной части блока дисциплин учебного плана и представляет собой один из разделов ОПД «Физика твердого тела», выделенный для углубленного изучения в самостоятельный курс. Для успешного освоения дисциплины студенты должны развить способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения.

В первой части спецкурса слушатели знакомятся с основными моделями теплоемкости диэлектрических и металлических кристаллов, методами описания динамики кристаллической решетки и состояния электронной системы. Во второй части курса рассматриваются явления переноса энтропии фононной и электронной системами твердых тел. В третьей части излагаются основные положения гидродинамического подхода к описанию динамики фононной системы в диэлектрических кристаллах.

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

| Формируемая компетенция<br>(код и формулировка)   | Индикатор достижения компетенции<br>(код и формулировка)  | Перечень планируемых результатов обучения  |
|---|---|--|
| <b>Профессиональные компетенции</b>   |   |  |
| <p><b>ПК-1.</b> Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ИД_ПК-1.1.</b> Умеет строить физические и математические модели процессов, приборов, блоков в области электроники и нанoeлектроники.</li> <li>• <b>ИД_ПК-1.2.</b> Обладает навыками компьютерного моделирования.</li> </ul> | <p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные термодинамические понятия, законы и процессы;</li> <li>• теплофизические параметры, характеризующие тепловые свойства материала (процесса).</li> <li>• основные закономерности и особенности передачи тепла;</li> <li>• основные модели теплоемкости диэлектриков:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Модель независимых осцилляторов;</li> <li>2) Модель Эйнштейна</li> </ol> </li> <li>• основы теории теплоемкости по Дебаю: понятие нормальных мод, закон дисперсии нормальных мод одномерной решетки с базисом, выражение для внутренней энергии трехмерной решетки Браве, поведение теплоемкости в рамках данной модели в области высоких и низких температур.</li> <li>• теплоемкость металлов: распределение Ферми-Дирака, теплоемкость электронного газа;</li> <li>• теплопроводность кристаллов: понятие фононов и уравнение Больцмана, нормальные процессы и процессы переброса, температурная зависимость</li> </ul> |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>теплопроводности<br/>диэлектриков, электронная<br/>теплопроводность,<br/>теплопроводность<br/>сверхпроводников.</p>  |
|  |  | <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определять, какие законы описывают то или иное тепловое явление или эффект;</li> <li>• истолковывать физический смысл понятий, динамических переменных и параметров, используемых при описании тепловых явлений (эффектов);</li> <li>• выбирать законы, закономерности и физико-математические модели для расчета и анализа конкретных теплофизических процессов;</li> <li>• записывать уравнения теплового баланса и уравнения теплопроводности, формулировать краевые условия для задач теплопроводности;</li> <li>• решать типовые задачи по разделам дисциплины,</li> </ul> |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>используя основные законы теплоемкости и теплопроводности;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать математический аппарат при описании динамики кристаллической решетки одномерного, двумерного и трехмерного кристаллов;</li> <li>• объяснить, почему используемые модели теплоемкости и теплопроводности применимы в ограниченном интервале температур.</li> <li>• эффективно использовать рекомендованную литературу и дополнительный материал в процессе обучения и профессиональной деятельности.</li> </ul> <p><b>Владеть навыками:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использования основных общефизических законов и принципов;</li> <li>• анализа результатов в рамках той или иной модели теплоемкости и теплопроводности.</li> <li>• применения основных методов физико-математического анализа для постановки и решения краевых задач.</li> <li>• самостоятельной работы с рекомендованной литературой, веб-страницами и дополнительными материалами по тематике курса.</li> </ul> |
|--|--|---|

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 акад. часа.

| №<br>п/п | Темы (разделы)<br>дисциплины,<br>их содержание   | Семестр | Виды учебных занятий,<br>включая самостоятельную<br>работу студентов,<br>и их трудоемкость<br>(в академических часах) |              |              |              |                             |                           | Формы текущего<br>контроля успеваемости<br><br>Форма промежуточной<br>аттестации<br>(по семестрам) |
|----------|--|---------|---|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|--|
|          |  |         | Контактная работа   |              |              |              |                             |                           |  |
|          |  |         | лекции  | практические | лабораторные | консультации | аттестационные<br>испытания | самостоятельная<br>работа |  |
| 1        | Теплоемкость кристаллов  | 7       | 9   | 9            |              |              |                             | 16                        |  |
| 1.1      | Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность кристалла. | 7       | 1   | 1            |              |              |                             | 2                         | Задания для самостоятельной работы,  |
| 1.2      | Теплоемкость. Модель независимых осцилляторов. Закон Дюлонга и Пти.  | 7       | 1   | 1            |              |              |                             | 2                         | Задания для самостоятельной работы,  |
| 1.3      | Теплоемкость. Модель Эйнштейна. Средняя энергия квантового осциллятора. Температура Эйнштейна.             | 7       | 2   | 2            |              |              |                             | 2                         | Задания для самостоятельной работы,  |
| 1.4      | Теплоемкость. Модель Дебая. Интерполяционная схема Дебая. Энергия и температура Дебая.                     | 7       | 2   | 2            |              |              |                             | 3                         | Задания для самостоятельной работы,  |
| 1.5      | Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми.   |         | 1   | 1            |              |              |                             | 2                         | Задания для самостоятельной работы,  |
| 1.6      | Теплоемкость электронного газа   |         | 1   | 1            |              |              |                             | 2                         | Задания для самостоятельной работы,  |
| 1.7      | Сравнение электронной и решеточной   |         | 1   | 1            |              | 2            |                             | 3                         | Задания для самостоятельной работы,  |

|          |   |           |           |           |  |          |     |           |  |
|----------|---|-----------|-----------|-----------|--|----------|-----|-----------|--|
|          | теплоемкостей   |           |           |           |  |          |     |           | Контрольная работа                                     |
| <b>2</b> | <b>Теплопроводность кристаллов</b>  |           | <b>9</b>  | <b>9</b>  |  |          |     | <b>16</b> |  |
| 2.1      | Электронная теплопроводность. Элементарная кинетическая теория. Закон Видемана-Франца-Лоренца       |           | 1         | 1         |  |          |     | 2         | Задания для самостоятельной работы,                    |
| 2.2      | Нормальные моды одномерной моноатомной решетки Бравэ  |           | 1         | 1         |  |          |     | 2         | Задания для самостоятельной работы,                    |
| 2.3      | Нормальные моды одномерной решетки с базисом  |           | 3         | 2         |  |          |     | 2         | Задания для самостоятельной работы,                    |
| 2.4      | Фононы. Нормальные процессы и процессы переброса  |           | 1         | 2         |  |          |     | 3         | Задания для самостоятельной работы,                    |
| 2.5      | Уравнение Больцмана для фононов. Решеточная теплопроводность в приближении времени релаксации       |           | 1         | 1         |  | 2        |     | 3         | Задания для самостоятельной работы, Контрольная работа |
| 2.6      | Обобщенное уравнение теплопроводности Гюйе и Крумхансла.  |           | 1         | 1         |  |          |     | 2         | Задания для самостоятельной работы,                    |
| 2.7      | Теплопроводность идеального ангармонического кристалла, Второй звук. Динамическая теплопроводность. |           | 1         | 1         |  |          |     | 2         | Задания для самостоятельной работы,                    |
|          |   |           |           |           |  |          | 0,3 | 31,7      | Зачет  |
|          | <b>Всего</b>  | <b>72</b> | <b>18</b> | <b>18</b> |  | <b>4</b> |     | <b>32</b> |  |

### Содержание разделов дисциплины:

#### 1. Теплоемкость твердого тела.

##### 1.1. Теплоемкость кристаллических диэлектриков.

Модель независимых осцилляторов. Закон Дюлонга и Пти. Модель Эйнштейна. Средняя энергия квантового осциллятора. Температура Эйнштейна. Недостатки модели Эйнштейна. Нормальные моды кристаллической решетки. Модель

Дебая. Интерполяционная схема Дебая. Сфера Дебая. Энергия и температура Дебая. Теплоемкость Дебая в области высоких и низких температур.

#### 1.2. Теплоемкость металлов.

Распределение Ферми-Дирака. Энергия и температура Ферми. Плотность состояний на уровне Ферми. Энергия и теплоемкость электронного газа. Сравнение электронной и решеточной теплоемкостей.

### 2. Теплопроводность кристаллов.

#### 2.1. Теплопроводность кристаллической решетки.

Фононы и уравнение Больцмана. Фононная теплопроводность в приближении времени релаксации. Нормальные процессы и процессы переброса. Температурная зависимость теплопроводности диэлектриков. Гидродинамика фононов. Уравнение Эйлера для идеального фононного газа. Второй звук. Динамическая теплопроводность.

#### 2.2. Электронная теплопроводность.

Элементарная кинетическая теория теплопроводности. Сравнение механизмов тепло- и электропроводности. Закон Видемана-Франца-Лоренца.

#### 2.3. Гидродинамика фононов.

Обобщенное уравнение теплопроводности Гюйе и Крумхансла. Теплопроводность идеального ангармонического кристалла, Второй звук. Динамическая теплопроводность.

### 5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции излагаются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и



насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

**6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

В ходе осуществления образовательного процесса используются:

– для формирования текстовых и графических материалов промежуточной и текущей аттестации – программы Microsoft Office, издательская система LaTeX;

**7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

**8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

**а) основная литература**

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М.: Наука, 1978. 791 с.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. - М.: Мир, 1979.- Т. 2. - 422 с.
3. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел - Москва: Изд-во "Наука", 1964. 488 с.

**б) дополнительная литература**

1. Шпольский Э.В. Атомная физика. М.: Наука, 1974. Т. 1. 576 с.
2. Ашкрофт Н., Мемрин Н. Физика твердого тела. М.: Наука, 1979. Т. 1. 399 с.
3. Callaway J. // Phys. Rev. 1959, V. 113. P. 1046.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1988. 733 с.

5. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах. М.: Мир, 1982. 270 с.
6. Янке Я., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. М.: Наука, 1977. 344 с.

**в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ  
([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).
2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)).

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

Аудитории, оборудованные для проведения лекций, практических, лабораторных занятий и консультаций, фонд библиотеки, компьютерная техника.

Автор:

Доцент базовой кафедры

нанотехнологий в электронике, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ А.Б. Чурилов

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Теплофизические свойства твердых тел»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,  
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,  
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущей аттестации**

**Контрольная работа  
по разделу «Теплоемкость кристаллов»**

1. Определить параметр решетки и плотность кристалла кальция, если расстояние между ближайшими соседними атомами  $d$  равно 0,393 нм. Решетка кубическая, гранецентрированная.  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>,  $\mu = 40 \cdot 10^{-3}$  кг/моль,  $n = 4$ .
2. Вычислить по классической теории теплоемкость  $C$  кристалла бромида алюминия ( $AlBr_3$ ) объемом  $V = 200$  см<sup>3</sup>. Плотность кристалла бромида алюминия равна 3,01 г/см<sup>3</sup>. Условие  $T > \Theta$  считать выполненным.
3. Вычислить длину волны фононов  $\lambda_f$  в свинце, соответствующую частоте  $\omega = 0,1\omega_D$ , если плотность свинца равна 11,3 г/см<sup>3</sup>, а молярная масса  $\mu = 207$  г/моль.
4. Определить температуру Дебая для серебра, если известно, что для нагревания серебра массой  $m = 15$  г от температуры  $T_1 = 5$  К до температуры  $T_2 = 10$  К надо затратить количество тепла  $Q = 6,8 \cdot 10^{-2}$  Дж. Условие  $T \ll \Theta$  считать выполненным.
5. Определить температуру вырождения  $T_v$  для калия, если считать, что на каждый атом приходится по одному свободному электрону. Плотность калия составляет 860 кг/м<sup>3</sup>.
6. Вычислить положение уровня Ферми относительно дна зоны проводимости ( $\mu - E_c$ ) в полупроводнике с концентрацией ионизированных доноров  $N_d = 10^{23}$  м<sup>-3</sup>. При температуре  $T = 300$  К плотность состояний у дна зоны проводимости  $N_c = 2,5 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>.

7. На расстоянии 0,48 мм от освещенной поверхности собственного кремния концентрация неравновесных носителей тока спадает в 3 раза. Определить время жизни неравновесных носителей тока, если температура кремния  $T = 300\text{K}$ , а подвижность электронов и дырок при этой температуре  $\mu_n = 1500\text{ см}^2/(\text{В с})$  и  $\mu_p = 500\text{ см}^2/(\text{В с})$ . Собственная концентрация в Si при данной температуре  $n_i = 10^{10}\text{ см}^{-3}$ .
8. Барий имеет объемноцентрированную кубическую решетку. Плотность кристалла бария равна  $3,5 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ , а молярная масса  $137 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$ . Определить параметр решетки.
9. Пользуясь классической теорией, вычислить удельные теплоемкости  $c$  кристаллов каменной соли и флюорита ( $\text{KCl}$  и  $\text{CaF}_2$ ). Относительные атомные массы:  $A_r(\text{K}) = 39$ ,  $A_r(\text{Cl}) = 35$ ,  $A_r(\text{Ca}) = 40$ ,  $A_r(\text{F}) = 19$ .
10. Вычислить по классической теории теплоемкость кристалла NaCl объемом  $100\text{ см}^3$ . Плотность кристалла равна  $2,2 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ .
11. Вычислить частоту Дебая в кристалле золота. Для золота температура Дебая равна  $180\text{ K}$ .
12. Медный образец массой  $50\text{ г}$  находится при температуре  $10\text{ K}$ . Определить количество теплоты, необходимое для его нагревания до температуры  $15\text{ K}$ . Температуру Дебая для меди принять равной  $300\text{ K}$ . Условие  $T \ll \Theta$  считать выполненным. Молекулярная масса меди  $64 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$ .
13. При нагревании серебра массой  $10\text{ г}$  от температуры  $10\text{ K}$  до температуры  $20\text{ K}$  было затрачено теплоты  $0,71\text{ Дж}$ . Определить температуру Дебая серебра. Условие  $T \ll \Theta$  считать выполненным.
14. Используя теорию Дебая, вычислить удельную теплоемкость железа при температуре  $15\text{ K}$ . Принять температуру Дебая для железа равной  $467\text{ K}$ . Молярная масса железа -  $56\text{ г/моль}$ . Условие  $T \ll \Theta$  считать выполненным.

### Контрольные вопросы

#### по разделу «Теплопроводность кристаллов»

1. Процессы переноса: за счет чего они возникают? Дайте определение термодинамическим силам.
2. Дайте объяснение понятиям: тепловой поток, поверхностная плотность теплового потока, линейная плотность теплового потока; приведите их единицы.
3. Охарактеризуйте процесс теплопроводности. Сформулируйте закон теплопроводности Фурье.

4. Какие известны способы задания граничных условий для дифференциального уравнения теплопроводности? Перечислить и дать краткое определение.
5. Какова связь между коэффициентом теплопроводности, коэффициентом температуропроводности и удельной теплоемкостью материалов?
6. Фононы и уравнение Больцмана: дайте определение понятия «фонон», «фононная теплопроводность»; что описывает уравнение Больцмана.
7. Дайте определение коэффициента теплопроводности. Какова его физический смысл в рамках фононной модели теплопроводности? Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности для одномерного случая.
8. Температурная зависимость теплопроводности кристаллического диэлектрика: изобразите график зависимости и укажите механизмы рассеяния фононов, преобладающие в области высоких, низких и комнатных температур.
9. Дайте определение идеального фононного газа. Запишите уравнение Эйлера для идеального фононного газа.
10. Что такое второй звук? Запишите условия распространения звуковых волн в газе.
11. Запишите выражение для коэффициента теплопроводности электронного газа.
12. Представьте графически зависимость электропроводности  $\sigma$  и теплопроводности  $\lambda$  чистого металла от температуры. Укажите на графике преобладающие механизмы рассеяния электронов.
13. Сформулируйте закон Видемана-Франца-Лоренца. Дайте его объяснение в рамках теории Друде и модели теплоемкости электронного газа.
14. Изобразите исходные распределения электронов и изменение функции распределения электронов одномерной системы вблизи поверхности Ферми:
  - при наложении электрического поля;
  - при градиенте температуры.
15. Теплопроводность сверхпроводников. Дайте определение следующим понятиям:
  - критическая температура;
  - сверхпроводящее состояние, сверхпроводник;
  - куперовская пара;
  - бозе-конденсация.

### **Билеты на зачетное мероприятие**

1. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность кристалла.
2. Теплоемкость кристаллических диэлектриков. Модель независимых осцилляторов.
3. Теплоемкость кристаллических диэлектриков. Модель Эйнштейна.
4. Теплоемкость кристаллических диэлектриков. Модель Дебая.
5. Теплоемкость металлов. Распределение Ферми-Дирака.
6. Теплоемкость электронного газа.
7. Сравнение электронной и решеточной теплоемкостей.
8. Электронная теплопроводность.
9. Закон Видемана-Франца.
10. Нормальные моды одномерной монокристаллической решетки.
11. Нормальные моды одномерной решетки с базисом.
12. Фононы. Нормальные процессы и процессы переброса.
13. Уравнение Больцмана для фононов. Решеточная теплопроводность в приближении времени релаксации.

### **Правила выставления зачета.**

При сдаче зачета студент отвечает на один теоретический вопрос. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

Оценка «Зачтено» выставляется студенту, который дает полные и последовательные ответы на вопросы по темам, при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах физики полупроводников, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Незачтено» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и

принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Теплофизические свойства твердых тел»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Теплофизические свойства твердых тел» являются лекции. В ходе лекций излагаются и разъясняются основные, наиболее сложные понятия тем, а также связанные с ними теоретические и практические проблемы, даются рекомендации на выполнение самостоятельной работы. В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала;
- обращать внимание на определения понятий, формулировки законов и их математическое выражение, положения, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;
- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений.

Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой. В случаях пропуска занятия студенту необходимо изучить материал и составить по нему конспект самостоятельно.

В качестве инновационного метода обучения предполагается практическая реализация концепции проблемного обучения. Проблемное обучение представляет собой систему методов и средств обучения, направленных на моделирование реального творческого процесса путем создания проблемной ситуации и управления поиском решения проблемы. Усвоения новых знаний при этом происходит как самостоятельное открытие их студентами с помощью преподавателя. Для этого необходимо действие двух факторов:

1. Возникновение познавательной потребности, локализуемой в определенном учебном материале;
2. Овладение новыми обобщенными знаниями, необходимыми для выполнения определенных задач.

Система проблемного обучения включает в себя следующие этапы обучения:

- информационные, не требующие творческой активности личности,
- тренировочные, включающие повторение действия и контроль за успешностью выполнения.



В процессе обучения студенты вовлекаются в решение поставленных проблем теоретического характера. Проблемная ситуация создается непосредственно на занятиях. Например, в начале лекции, когда анализируется некоторая, полученная ранее, модель, и ее результаты сопоставляются с экспериментальными данными. Студентам предлагается объяснить, почему в определенном интервале температур модель неадекватно описывает температурную зависимость того или иного теплофизического параметра. В ходе обсуждения вырабатывается новый подход к решению поставленной задачи, рассматриваются различные варианты реализации этого подхода, из которых выбирается оптимальный вариант. После этого с помощью преподавателя строится новая модель рассматриваемой системы и ее предсказания сопоставляются с результатами эксперимента. Таким образом, при изучении теплоемкости кристаллической решетки удастся проследить всю хронологическую последовательность развития представлений о тепловом движении атомов кристаллов от модели независимых осцилляторов до динамики фононов.

## **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине**

Для самостоятельной работы рекомендуется использовать учебную литературу, к которой можно отнести следующие издания:

1. Голдсмид Г. Дж. Задачи по физике твердого тела — Наука, 1976. — 432 с.
2. Сирота Д. Физика твердого тела. Сборник задач с подробными решениями. 2010. 184 с.

Также для подбора учебной литературы рекомендуется использовать широкий спектр интернет-ресурсов:

**1. Международный научно-образовательный сайт EqWorld.** Сайт EqWorld содержит обширную информацию о различных классах обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), дифференциальных уравнений с частными производными (УрЧП), интегральных уравнений, функциональных уравнений и других математических уравнений. Особое внимание уделено уравнениям математической физики и механики. Приведены таблицы точных решений, описаны методы решения уравнений, есть интересные статьи, даны ссылки на математические программы, указаны адреса научных сайтов, издательств, журналов и др. Имеется динамический раздел EqArchive, который дает возможность авторам оперативно публиковать свои уравнения и их точные решения, первые интегралы и преобразования. Содержит учебную физико-математическую библиотеку, в которую авторы могут добавлять свои книги и диссертации, а также форум для вопросов и дискуссий.

EqWorld работает на русском и английском языках (главная стр. сайта переведена также на немецкий, французский, итальянский и испанский языки) и предназначен для широкого круга ученых, преподавателей вузов, инженеров, аспирантов и студентов в различных областях математики, механики, физики, химии, биологии и инженерных наук. Все ресурсы сайта являются бесплатными для его пользователей.

EqWorld содержит около 2000 веб-страниц (книги библиотеки не учитываются), его посещают люди из 200 стран мира, средняя посещаемость сайта превышает 3000 человек в сутки. Адреса сайта в Интернете: <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm> (рус.), <http://eqworld.ipmnet.ru> (англ.).

**2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru))** - электронная библиотека, обеспечивающая доступ к наиболее востребованным материалам-первоисточникам, учебной, научной и художественной литературе ведущих издательств (\*регистрация в электронной библиотеке – только в

сети университета. После регистрации работа с системой возможна с любой точки доступа в Internet.).

### 3. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://window.edu.ru/library>).

Целью создания информационной системы "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (ИС "Единое окно ") является обеспечение свободного доступа к интегральному каталогу образовательных интернет-ресурсов и к электронной библиотеке учебно-методических материалов для общего и профессионального образования.

Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" создана по заказу Федерального агентства по образованию в 2005-2008 гг. Главной разработчик проекта - Федеральное государственное автономное учреждение Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций (ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика") [www.informika.ru](http://www.informika.ru).

ИС "Единое окно" объединяет в единое информационное пространство электронные ресурсы свободного доступа для всех уровней образования в России. Разделы этой системы:

**Электронная библиотека** – является крупнейшим в российском сегменте Интернета хранилищем полнотекстовых версий учебных, учебно-методических и научных материалов с открытым доступом. Библиотека содержит более 30 000 материалов, источниками которых являются более трехсот российских вузов и других образовательных и научных учреждений. Основу наполнения библиотеки составляют электронные версии учебно-методических материалов, подготовленные в вузах, прошедшие рецензирование и рекомендованные к использованию советами факультетов, учебно-методическими комиссиями и другими вузовскими структурами, осуществляющими контроль учебно-методической деятельности.

**Интегральный каталог образовательных интернет-ресурсов** содержит представленные в стандартизированной форме метаданные внешних ресурсов, а также содержит описания полнотекстовых публикаций электронной библиотеки. Общий объем каталога превышает 56 000 метаописаний (из них около 25 000 - внешние ресурсы). Расширенный поиск в "Каталоге" осуществляется по названию, автору, аннотации, ключевым словам с возможной фильтрацией по тематике, предмету, типу материала, уровню образования и аудитории.

**Избранное.** В разделе представлены подборки наиболее содержательных и полезных, по мнению редакции, интернет-ресурсов для общего и профессионального образования.

**Библиотеки вузов.** Раздел содержит подборки сайтов вузовских библиотек, электронных каталогов библиотек вузов и полнотекстовых электронных библиотек вузов.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

**1. Личный кабинет** ([http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_login.php](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php)) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб.и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

**2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ** ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.

**3. Электронная картотека «Книгообеспеченность»** ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_bookreq\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php)) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.