

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**


|  |   |
|--|---|
| <b>Блок:</b>                             | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | <b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b> |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | <b>Б1.Ч.11</b>  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b> | <b>7 семестр - 5;</b>   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | <b>180 часов</b>  |
| <b>Лекции</b>                            | <b>7 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Практические занятия</b>              | <b>7 семестр - 48 часа;</b>                                     |
| <b>Лабораторные работы</b>               | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Консультации</b>                      | <b>7 семестр - 2 часа;</b>                                      |
| <b>Самостоятельная работа</b>            | <b>7 семестр - 113,5 часов;</b>                                 |
| <b>в том числе на КП/КР</b>              | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Иная контактная работа</b>            | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>включая:</b>                          |   |
| <b>Коллоквиум</b>                        |   |
| <b>Решение задач</b>                     |   |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>         |   |
| <b>Экзамен</b>                           | <b>7 семестр - 0,5 часа;</b>                                    |

**Москва 2020**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

|   |   |                                |
|---|---|--------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                                |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                                |
|   | Владелец  | Королев П.В.                   |
|   | Идентификатор   | Re35b2607-KorolevPavV-75bc149f |

(подпись)

П.В. Королев

(расшифровка  
подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                                 |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                                 |
|   | Владелец  | Дмитриев А.С.                   |
|   | Идентификатор   | R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae2f |

(подпись)

А.С. Дмитриев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |   |                           |
|---|---|---------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                           |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                           |
|   | Владелец  | Пузина Ю.Ю.               |
|   | Идентификатор   | Re86e9a56-Puzina-4d2acad1 |

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов описания конденсированных систем, в том числе квантовой жидкости (гелия-II), а также методов физической кинетики для описания процессов тепло- и массопереноса в идеальном газе

### Задачи дисциплины

- изучение методов описания конденсированного состояния вещества, в том числе сверхтекучего гелия, молекулярно-кинетического метода описания процессов переноса в газах (в том числе и в условиях сильной термодинамической неравновесности);
- овладение знаниями о свойствах и применении сверхтекучего гелия (гелия-II);
- приобретение навыков принятия и обоснования конкретных методических решений при выполнении расчетов различных процессов в конденсированных телах и газах.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения   |
|--|---|---|
| ПК-3 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей процессов в наноразмерных системах | ИД-4 <sub>ПК-3</sub> Готов анализировать процессы взаимодействия частиц на поверхности материалов и в конденсированной фазе | знать:<br>- основные методы описания конденсированных систем и расчета их свойств;<br>- способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности.<br><br>уметь:<br>- выполнять расчеты теплопереноса в газах при любой степени термодинамической неравновесности;<br>- выполнять расчеты теплопереноса в He-II. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Термодинамика
- знать Физика (общая)
- знать Математика
- знать Теплообмен

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации   | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания   |   |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|---|
|       |  |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     |    | СР |                   |                                   |  |   |
|       |  |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |  |   |
| КПР   | ГК   | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |  |   |
| 1     | 2  | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15   |   |
| 1     | Элементы физической кинетики                             | 40                    | 7       | 6  | -   | 14 | -            | - | -   | -  | -  | 20                | -                                 | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Элементы физической кинетики"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], 7-19<br/>[2], 3-39</p> |   |
| 1.1   | Основные понятия и определения                           | 12                    |         | 2  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 6                                 |  | - |
| 1.2   | Кинетическое уравнение Больцмана                         | 14                    |         | 2  | -   | 5  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 7                                 |  | - |
| 1.3   | Постановка задачи для уравнения Больцмана                | 14                    |         | 2  | -   | 5  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 7                                 |  | - |
| 2     | Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II | 36                    |         | 4  | -   | 14 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 18                                |  | - |
| 2.1   | Гелий – квантовая жидкость                               | 18                    |         | 2  | -   | 7  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 9                                 |  | - |
| 2.2   | Постановка задачи о расчете теплообмена в He-II          | 18                    |         | 2  | -   | 7  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 9                                 |  | - |
| 3     | Принципы физики конденсированных систем                  | 68                    |         | 6  | -   | 20 | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 42                                |  | - |
| 3.1   | Параметры конденсированного тела                         | 22                    |         | 2  | -   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 14                                |  | - |
| 3.2   | Кристаллическая решетка                                  | 23                    |         | 2  | -   | 7  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 14                                |  | - |
| 3.3   | Теплопроводность   | 23                    | 2       | -  | 7   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 14                | -                                 |  |   |

|  |   |       |    |   |    |   |   |   |   |     |    |       |  |
|--|---|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|----|-------|--|
|  | кристаллической<br>решетки<br>(диэлектрики) |       |    |   |    |   |   |   |   |     |    |       |  |
|  | Экзамен                                     | 36.0  | -  | - | -  | - | 2 | - | - | 0.5 | -  | 33.5  |  |
|  | Всего за семестр                            | 180.0 | 16 | - | 48 | - | 2 | - | - | 0.5 | 80 | 33.5  |  |
|  | Итого за семестр                            | 180.0 | 16 | - | 48 |   | 2 |   | - | 0.5 |    | 113.5 |  |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Элементы физической кинетики

#### 1.1. Основные понятия и определения

Потенциалы взаимодействия. Функция распределения молекул газа по скоростям. Моменты функции распределения. Связь микроскопического и макроскопического уровней описания.

#### 1.2. Кинетическое уравнение Больцмана

Основные допущения при выводе. Моменты интеграла столкновений. H-функция и H-теорема.

#### 1.3. Постановка задачи для уравнения Больцмана

Методы решения кинетического уравнения Больцмана. Решение линеаризованной одномерной стационарной задачи о переcondенсации. Получение выражения для плотности потока массы  $j$ . Его асимптотики.

### 2. Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II

#### 2.1. Гелий – квантовая жидкость

Опытные факты и наблюдения. Термомеханический и механотермический эффекты в He-II. Соотношение Лондона. Двухскоростная модель Л.Д.Ландау: допущения (предположения) и математическое описание. Распространение звука в He-II. Система уравнений, описывающая это явление. Скорость первого и второго звука. Изменение давления и температуры в монохроматической волне 1-го и 2-го звука. Третий и четвертый звуки. Коэффициент отражения звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия.

#### 2.2. Постановка задачи о расчете теплообмена в He-II

Режим сопротивления П.Л.Капицы. Описание стационарного теплопереноса в He-II при ламинарном движении нормальной компоненты. Вывод уравнения, описывающего стационарный теплоперенос в He-II на основе уравнений двухскоростной гидродинамики. Критические скорости в He-II. Сила взаимного трения Гортера-Меллинка. Физическая сущность. Качественный вывод выражения для силы. Расчет теплопереноса с учетом взаимного трения компонент сверхтекучего гелия. Расчет “восстановительного” теплового потока в He-II. Физическая постановка. Математическое описание. Результаты для цилиндрических нагревателей малого и большого диаметров.

### 3. Принципы физики конденсированных систем

#### 3.1. Параметры конденсированного тела

Параметр взаимодействия. Параметр де Бройля. Концепция элементарных возбуждений. Энергетический спектр конденсированного тела.

#### 3.2. Кристаллическая решетка

Коллективные колебания кристаллической решетки. Фононы. Квантовая статистика Бозе-Эйнштейна. Акустические и оптические фононы. Теплоемкость кристаллической решетки. Модель Дебая. Плавление конденсированного тела. Критерий Линдемана.

#### 3.3. Теплопроводность кристаллической решетки (диэлектрики)

Электроны в конденсированном теле. Квантовая статистика Ферми-Дирака. Вырожденный ферми газ. Теорема Блоха. Статистика и термодинамика электронов в конденсированном теле. Теплоемкость электронов. Зонная структура конденсированных тел.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Вычисление моментов функции распределения;
2. Получение системы моментных уравнений для решения задачи об одномерной стационарной переконденсации;
3. Решение задачи о теплопереносе через плоский слой разреженного газа;
4. Решение линеаризованной системы моментных уравнений для задачи об одномерной стационарной переконденсации;
5. Расчет стационарного теплопереноса в гелии II при безвихревом сверхтекучем движении и ламинарном нормальном движении;
6. Расчет стационарного теплопереноса в гелии II с учетом силы взаимного трения;
7. Определение восстановительного теплового потока при кипении сверхтекучего гелия;
8. Вывод формулы параметра де Бура. Расчет параметра де Бура для твердого  $^4\text{He}$  и других веществ в конденсированном состоянии;
9. Вывод формулы параметра де Бройля. Расчет параметра де Бройля для различных конденсированных тел;
10. Вывод формул Дебая и Дюлонга-Пти;
11. Вычисление теплоемкости кристаллической решетки различных твердых тел при различных температурах;
12. Вывод формулы электропроводности металлов;
13. Электронная теплопроводность. Вывод закона Видемана-Франца;
14. Фононная теплопроводность.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Элементы физической кинетики"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Принципы физики конденсированных систем"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)               | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) |   |   | Оценочное средство<br>(тип и наименование)  |
|--|------------------|---|---|---|---|
|  |                  | 1   | 2 | 3 |   |
| <b>Знать:</b>  |                  |   |   |   |   |
| способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности                       | ИД-4ПК-3         | +   |   |   | Коллоквиум/Элементы физической кинетики. Часть 1  |
| основные методы описания конденсированных систем и расчета их свойств                            | ИД-4ПК-3         |   |   | + | Коллоквиум/Принципы физики конденсированных систем  |
| <b>Уметь:</b>  |                  |   |   |   |   |
| выполнять расчеты тепломассопереноса в He-II   | ИД-4ПК-3         |   | + |   | Решение задач/Расчет характеристик паровой пленки при кипении сверхтекучего гелия на поверхностях сферических и цилиндрических нагревателей |
| выполнять расчеты тепломассопереноса в газах при любой степени термодинамической неравновесности | ИД-4ПК-3         | +   |   |   | Коллоквиум/Элементы физической кинетики. Часть 2  |



## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**7 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Расчет характеристик паровой пленки при кипении сверхтекучего гелия на поверхностях сферических и цилиндрических нагревателей (Решение задач)

Форма реализации: Устная форма

1. Принципы физики конденсированных систем (Коллоквиум)
2. Элементы физической кинетики. Часть 1 (Коллоквиум)
3. Элементы физической кинетики. Часть 2 (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №7)*

Итоговая оценка по курсу выставляется на основе оценки за промежуточную аттестацию. Возможен случай, когда в силу значительно отличающейся текущей оценки может быть применен повышающий или понижающий коэффициент

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Королев, П. В. Методы описания конденсированных систем : учебное пособие по курсу "Физика конденсированных систем" по направлению "Нанотехнологии", и слушателей ФПКПиС МЭИ (ТУ) / П. В. Королев, А. П. Крюков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 64 с. - ISBN 978-5-383-00428-9 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1454](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1454);
2. Крюков, А. П. Элементы физической кинетики : Учебное пособие по курсу "Основы криофизики" / А. П. Крюков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1995 . – 69 с. : 890.00 .;
3. Крюков, А. П. Элементы гидродинамики и теплопереноса в гелии II : Учебное пособие по курсу "Криофизика" по направлению "Техническая физика" / А. П. Крюков, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 80 с. - ISBN 5-7046-1137-0 .;
4. Дмитриев, А. С. Основы криофизики конденсированных систем : учебное пособие по курсу "Криофизика", по направлению "Техническая физика" / А. С. Дмитриев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 132 с. - ISBN 5-903072-78-X .;
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.- "Статистическая физика. Ч. 2. Теория конденсированного состояния" Т. 9, (4-е изд., стер.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2004 - (496 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2235](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2235).

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование           | Оснащение   |
|---|---|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | М-409/2, Аудитория каф. "НТ"            | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор                |
|   | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор   |
|   | М-412, Учебная аудитория                | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                 | сервер, кондиционер   |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | М-409/2, Аудитория каф. "НТ"            | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор                |
|   | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор   |
|   | М-412, Учебная аудитория                | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная |
|   | Ж-120, Машинный                         | сервер, кондиционер   |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | зал ИВЦ                                 |   |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | М-409/2, Аудитория каф. "НТ"            | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор                        |
|   | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор   |
|   | М-412, Учебная аудитория                | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная         |
|   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                 | сервер, кондиционер   |
| Помещения для самостоятельной работы                      | М-411/1, Компьютерный класс             | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный              |
| Помещения для консультирования                            | М-423/1, Аудитория каф. "НТ"            | стул, стол письменный   |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря  | М-407/1, Кладовая                       | стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Физика конденсированного состояния

(название дисциплины)

## 7 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Элементы физической кинетики. Часть 1 (Коллоквиум)

КМ-2 Элементы физической кинетики. Часть 2 (Коллоквиум)

КМ-3 Принципы физики конденсированных систем (Коллоквиум)

КМ-4 Расчет характеристик паровой пленки при кипении сверхтекучего гелия на поверхностях сферических и цилиндрических нагревателей (Решение задач)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Элементы физической кинетики                             |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Основные понятия и определения                           |            | +    | +    |      |      |
| 1.2           | Кинетическое уравнение Больцмана                         |            | +    | +    |      |      |
| 1.3           | Постановка задачи для уравнения Больцмана                |            | +    | +    |      |      |
| 2             | Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Гелий – квантовая жидкость                               |            |      |      |      | +    |
| 2.2           | Постановка задачи о расчете теплообмена в He-II          |            |      |      |      | +    |
| 3             | Принципы физики конденсированных систем                  |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Параметры конденсированного тела                         |            |      |      | +    |      |
| 3.2           | Кристаллическая решетка                                  |            |      |      | +    |      |
| 3.3           | Теплопроводность кристаллической решетки (диэлектрики)   |            |      |      | +    |      |
| Вес КМ, %:    |  |            | 20   | 20   | 20   | 40   |