

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

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

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

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

П.В. Королев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Макаров П.Г.
	Идентификатор	R9a51899a-MakarovPG-4f257daf

П.Г. Макаров

Заведующий выпускающей
кафедрой

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

Ю.Ю. Пузина

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-2 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей процессов в наноразмерных системах	ИД-4 _{ПК-2} Готов анализировать процессы взаимодействия частиц на поверхности материалов и в конденсированной фазе	знать: - основные методы описания конденсированных систем и расчета их свойств; - способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности. уметь: - выполнять расчеты теплообмена в газах при любой степени термодинамической неравновесности; - выполнять расчеты теплообмена 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><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Элементы физической кинетики"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 7-19 [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	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 45-64 [5], 113-188</p>	
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		7	6	-	20	-	-	-	-	-	42		-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Принципы физики конденсированных систем"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 32-62 [4], 4-57, 77-115</p>
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 решетки (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 перекоденсации. 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. Фононная теплопроводность;
2. Электронная теплопроводность. Вывод закона Видемана-Франца;
3. Вывод формулы электропроводности металлов;
4. Вывод формул Дебая и Дюлонга-Пти;
5. Вывод формулы параметра де Бройля. Расчет параметра де Бройля для различных конденсированных тел;
6. Расчет стационарного теплопереноса в гелии II при безвихревом сверхтекучем движении и ламинарном нормальном движении;
7. Решение задачи о теплопереносе через плоский слой разреженного газа;
8. Расчет стационарного теплопереноса в гелии II с учетом силы взаимного трения;
9. Решение линеаризованной системы моментных уравнений для задачи об одномерной стационарной переконденсации;
10. Получение системы моментных уравнений для решения задачи об одномерной стационарной переконденсации;
11. Вычисление теплоемкости кристаллической решетки различных твердых тел при различных температурах;
12. Вычисление моментов функции распределения;
13. Определение восстановительного теплового потока при кипении сверхтекучего гелия;
14. Вывод формулы параметра де Бура. Расчет параметра де Бура для твердого ^4He и других веществ в конденсированном состоянии.

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 (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)			Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	
Знать:					
способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности	ИД-4ПК-2	+			Коллоквиум/Элементы физической кинетики. Часть 1
основные методы описания конденсированных систем и расчета их свойств	ИД-4ПК-2			+	Коллоквиум/Принципы физики конденсированных систем
Уметь:					
выполнять расчеты тепломассопереноса в He-II	ИД-4ПК-2		+		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-2	+			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/elib/view.php?id=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.

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