

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

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА В СУЩЕСТВЕННО НЕРАВНОВЕСНЫХ**  
**СИСТЕМАХ**

<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.06.05.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 95,7 часа;</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>Контрольная работа</b> <b>Коллоквиум</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(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:** является изучение особенностей процессов переноса, характеризующихся значительной неравновесностью, при их реализации в соответствующих прикладных задачах и устройствах

### Задачи дисциплины

- ознакомление с методами описания систем, работающих в условиях сильной неравновесности процессов переноса;
- приобретение навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при разработке низкотемпературных устройств и систем охлаждения теплонапряженного оборудования.

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-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования	ИД-3ПК-1 Умеет применять различные подходы к расчету процессов тепломассопереноса в зависимости от режимных параметров работы элементов энергетического оборудования	знать: - расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования теплогидравлических процессов в условиях значительного отклонения от состояния термодинамического равновесия и принципы их моделирования в конкретных технических системах; - способы расчета существенно неравновесных процессов переноса с целью применения их на практике для разработки энергонапряженного оборудования, машин и аппаратов высоких технологий.  уметь: - анализировать информацию о технологиях осуществления существенно неравновесных процессов переноса; - применять современные методы исследования, проводить технические испытания и (или) научные эксперименты.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Исследование поверхности в условиях вакуума и низких температур
- знать Тепловые процессы в наноструктурах

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Постановка задач расчета испарения и конденсации	18	3	2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Постановка задач расчета испарения и конденсации"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[2], 32-41 [5], 56-64 [8], 56-64</p>
1.1	Постановка задач расчета испарения и конденсации	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	
2	Методы расчета термических сопротивлений	20.0		2.0	-	6	-	-	-	-	-	12	-	
2.1	Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
2.2	Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена	6.5		0.5	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
2.3	Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата	6.5		0.5	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
3	Обзор методов	16		2	-	2	-	-	-	-	-	12	-	

	решения кинетического уравнения												<b><u>теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Обзор методов решения кинетического уравнения"
3.1	Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации	16	2	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 11-16 [7], 13-28
4	Результаты исследования задач испарения-конденсации	26	4	-	6	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Результаты исследования задач испарения-конденсации"
4.1	Результаты исследования задач испарения-конденсации	26	4	-	6	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 41-110 [5], 69-77 [7], 67-78 [8], 69-77
5	Решение прикладных задач: кипение сверхтекучего гелия, процессы криовакуумирования, конденсация паров металлов	46	6	-	14	-	-	-	-	-	26	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Решение прикладных задач: кипение сверхтекучего гелия, процессы криовакуумирования, конденсация паров металлов"
5.1	Кипение сверхтекучего гелия	18	2	-	6	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 706-730 [2], 74-82 [3], 5-35; 57-74 [6], 59-77
5.2	Процессы криовакуумирования	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	
5.3	Конденсация паров металлов	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>16.0</b>	-	<b>32</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>78</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>16.0</b>	-	<b>32</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>95.7</b>		

**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. Постановка задач расчета испарения и конденсации

##### 1.1. Постановка задач расчета испарения и конденсации

Термические сопротивления: внешнее (газодинамическое), межфазное, пленки конденсата. Роль каждого в зависимости от интенсивности процесса..

#### 2. Методы расчета термических сопротивлений

##### 2.1. Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой

Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой.

##### 2.2. Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена

Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена.

##### 2.3. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата

Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата.

#### 3. Обзор методов решения кинетического уравнения

##### 3.1. Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации

Линейная теория. Моментный метод решения одномерных задач. Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана (для разных чисел Кнудсена, многомерные задачи). Прямое статистическое моделирование. Модельные уравнения..

#### 4. Результаты исследования задач испарения-конденсации

##### 4.1. Результаты исследования задач испарения-конденсации

Параметричность испарения, дозвуковой и сверхзвуковой конденсации. Предельные потоки испарения-конденсации.. Инженерные соотношения для расчета испарения и конденсации в дозвуковом режиме. Диаграмма предельных потоков в сверхзвуковой области.. Конденсация в присутствии неконденсируемых газов. Кривые  $q=f(\Delta T)$  для конденсации-испарения во всем диапазоне изменения интенсивностей. Рекомендации по уменьшению  $\Delta T$ .. Определение итогового перепада температур от газа через межфазную поверхность, пленку конденсата, стенку теплообменника (конденсатора) охлаждающему теплоносителю.. Влияние неполной конденсации на границе раздела фаз на характеристики процесса.. Модели описания: коэффициенты испарения-конденсации, система кинетических уравнений для молекул газа и фононов конденсата; расчет взаимодействий молекул газа и конденсата методами молекулярной динамики; предельные скорости и предельные потоки массы..

#### 5. Решение прикладных задач: кипение сверхтекучего гелия, процессы криовакуумирования, конденсация паров металлов

##### 5.1. Кипение сверхтекучего гелия

Кривая кипения сверхтекучего гелия. Пиковая и "восстановительная" тепловая нагрузка.. Расчет "восстановительной" тепловой нагрузки по линейной теории и в общем случае.. Перенос тепла через паровую пленку для нелинейных задач в одномерной и двумерной

постановке.. Перенос массы и энергии в ограниченной паровой области при наличии градиента температур на межфазной поверхности.. Расчет эволюции паровой пленки при больших тепловых нагрузках для плоского, цилиндрического и сферического нагревателей..

### 5.2. Процессы криовакуумирования

Роль направленности потоков при криоконденсации (десублимации).. Расчет теплопереноса в области неприменимости законов градиентного типа.. Примеры расчета течений, характеризующихся малыми числами Кнудсена, с учетом сильной неравновесности на межфазной границе..

### 5.3. Конденсация паров металлов

Роль процессов переноса на межфазной поверхности при определении общего термического сопротивления в системе: пар – пленка конденсата – стенка конденсатора – охлаждающий теплоноситель.. Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными..

## 3.3. Темы практических занятий

1. Применение уравнения Рэлея для решения задачи о схлопывании парогазового пузыря при сонолюминесценции. Приближенное описание явления формирования ударной волны внутри пузыря;
2. Особенности эволюции паровых образований на нагревателях цилиндрической и шаровой формы, погруженных в жидкости с низкой и высокой эффективностью теплопереноса;
3. Движение перемычек гелия-II в капиллярах при наличии осевого теплового потока;
4. Эволюция паровых пленок при кипении гелия-II. Приближенный подход и расчет на основе уравнения Рэлея;
5. Расчет восстановительных нагрузок при кипении гелия-II на нагревателях цилиндрической и шаровой формы;
6. Определение предельной плотности газа при заперении конденсации из парогазовой среды;
7. Испарение и конденсация при наличии неконденсируемых компонентов;
8. Применение методов молекулярной динамики для задач энерго-массопереноса в двухфазных системах;
9. Предельные значения коэффициентов конденсации и удельных потоков массы;
10. Влияние коэффициентов испарения и конденсации. Способ пересчета результатов решения задачи об интенсивной конденсации;
11. Определение плотности потока массы при интенсивной конденсации с помощью приближенного соотношения, полученного на базе молекулярно-кинетической теории. Сравнение с результатами применения традиционного подхода;
12. Приближенный метод определения теплопереноса через слой разреженного газа при произвольных числах Кнудсена. Примеры применения для наноразмерных систем;
13. Законы сохранения в виде выражений молекулярно-кинетической теории. Расчет теплового потока для свободномолекулярного предела;
14. Применение законов сохранения в дифференциальной форме для решения задачи о конденсации чистого пара на поверхности;
15. Решение уравнения сохранения энергии в интегральной формулировке для задач интенсивного испарения и конденсации в рамках механики сплошных сред.

## 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Постановка задач расчета испарения и конденсации"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методы расчета термических сопротивлений"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Обзор методов решения кинетического уравнения"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Результаты исследования задач испарения-конденсации"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Решение прикладных задач: кипение сверхтекучего гелия, процессы криовакуумирования, конденсация паров металлов"

### **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	4	5	
<b>Знать:</b>							
способы расчета существенно неравновесных процессов переноса с целью применения их на практике для разработки энергонапряженного оборудования, машин и аппаратов высоких технологий	ИД-3ПК-1		+			+	Контрольная работа/Расчет термических сопротивлений при испарении и конденсации
расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования теплогидравлических процессов в условиях значительного отклонения от состояния термодинамического равновесия и принципы их моделирования в конкретных технических системах	ИД-3ПК-1	+		+			Коллоквиум/Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло-массопереноса на границах раздела фаз
<b>Уметь:</b>							
применять современные методы исследования, проводить технические испытания и (или) научные эксперименты	ИД-3ПК-1				+	+	Контрольная работа/Определение тепловых нагрузок и скоростей движения межфазных поверхностей при кипении сверхтекучего гелия
анализировать информацию о технологиях осуществления существенно неравновесных процессов переноса	ИД-3ПК-1				+	+	Коллоквиум/Методы и результаты исследования задач тепло- массопереноса на межфазных поверхностях

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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Определение тепловых нагрузок и скоростей движения межфазных поверхностей при кипении сверхтекучего гелия (Контрольная работа)
2. Расчет термических сопротивлений при испарении и конденсации (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Методы и результаты исследования задач тепло- массопереноса на межфазных поверхностях (Коллоквиум)
2. Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло- массопереноса на границах раздела фаз (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

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

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

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. В 10 т. Т.6. Гидродинамика : учебное пособие для физических специальностей университетов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц . – 4-е изд., стер . – М. : Наука, 1988 . – 736 с. - ISBN 5-02-013850-9 .;
2. Крюков, А. П. Процессы переноса в существенно неравновесных системах : учебное пособие по курсу "Процессы переноса в существенно неравновесных системах" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. П. Крюков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 124 с. - ISBN 978-5-9902974-9-4 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=5690](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=5690);
3. Крюков, А. П. Формы межфазных поверхностей при переносе массы, импульса, энергии : учебное пособие по курсу "Процессы переноса в существенно неравновесных системах" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" и слушателей ФПКПС / А. П. Крюков, Ю. Ю. Пузина, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 88 с. - ISBN 978-5-7046-1638-2 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=7261](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=7261);
4. 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);

5. Лабунцов, Д. А. Механика двухфазных систем : учебное пособие для вузов по направлению "Техническая физика" / Д. А. Лабунцов, В. В. Ягов . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 384 с. - ISBN 978-5-383-00036-6 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=5286](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=5286);

6. 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 .;

7. Численное решение кинетического уравнения Больцмана в инженерной практике : учебное пособие по курсам "Криофизика" и "Процессы переноса в существенно неравновесных условиях" по направлению "Техническая физика" / А. П. Крюков, В. Ю. Левашов, И. Н. Шишкова, и др., Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 80 с. - ISBN 5-7046-1316-0 .;

8. Лабунцов Д.А. , Ягов В.В. - "Механика двухфазных систем", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (384 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72240](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72240).

## **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. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
16. 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 зал ИВЦ	сервер, кондиционер
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

### Процессы переноса в существенно неравновесных системах

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Расчет термических сопротивлений при испарении и конденсации (Контрольная работа)
- КМ-2 Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло-массопереноса на границах раздела фаз (Коллоквиум)
- КМ-3 Методы и результаты исследования задач тепло- массопереноса на межфазных поверхностях (Коллоквиум)
- КМ-4 Определение тепловых нагрузок и скоростей движения межфазных поверхностей при кипении сверхтекучего гелия (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Постановка задач расчета испарения и конденсации					
1.1	Постановка задач расчета испарения и конденсации			+		
2	Методы расчета термических сопротивлений					
2.1	Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой		+			
2.2	Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена		+			
2.3	Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата		+			
3	Обзор методов решения кинетического уравнения					
3.1	Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации			+		
4	Результаты исследования задач испарения-конденсации					
4.1	Результаты исследования задач испарения-конденсации				+	+
5	Решение прикладных задач: кипение сверхтекучего гелия, процессы криовакуумирования, конденсация паров металлов					
5.1	Кипение сверхтекучего гелия		+		+	+

5.2	Процессы криовакуумирования	+		+	+
5.3	Конденсация паров металлов	+		+	+
Вес КМ, %:		25	20	35	20