

**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: Физика и техника низких температур**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Процессы переноса в существенно неравновесных системах**

**Москва  
2025**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |                                                    |                               |
|--|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец                                           | Левашов В.Ю.                  |
|  | Идентификатор                                      | Recdd7acd-LevashovVY-7d6d228a |

В.Ю.  
Левашов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |                                                    |                               |
|--|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец                                           | Ястребов А.К.                 |
|  | Идентификатор                                      | R0e5b2163-YastrebovAK-2523fea |

А.К.  
Ястребов

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

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования

ИД-3 Умеет применять различные подходы к расчету процессов теплообмена в зависимости от режимных параметров работы элементов энергетического оборудования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

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 определения форм межфазных поверхностей (Коллоквиум)
2. Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло-массопереноса на границах раздела фаз (Коллоквиум)

## БРС дисциплины

### 2 семестр

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

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

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Раздел дисциплины | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                   | Срок КМ:                        | 6    | 8    | 12   | 16   |

|                                                                                                       |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Постановка задач расчета испарения и конденсации однокомпонентной среды и парогазовых смесей          |    |    |    |    |
| Постановка задач расчета испарения и конденсации однокомпонентной среды и парогазовых смесей          |    | +  |    |    |
| Методы расчета термических сопротивлений, определенных в п.1                                          |    |    |    |    |
| Методы расчета термических сопротивлений, определенных в п.1                                          |    | +  |    |    |
| Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации |    |    |    |    |
| Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации |    | +  |    |    |
| Результаты исследования задач испарения-конденсации                                                   |    |    |    |    |
| Результаты исследования задач испарения-конденсации                                                   |    |    | +  |    |
| Решение прикладных задач                                                                              |    |    |    |    |
| Кипение сверхтекучего гелия                                                                           |    |    | +  |    |
| Процессы криовакуумирования                                                                           | +  |    |    |    |
| Конденсация паров металлов                                                                            | +  |    |    |    |
| Определение форм межфазных поверхностей при переноса массы, импульса, энергии.                        |    |    |    | +  |
| Сонолюминесценция                                                                                     |    |    |    | +  |
| Вес КМ:                                                                                               | 25 | 20 | 35 | 20 |

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                                                                                                     | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Контрольная точка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1               | ИД-3ПК-1 Умеет применять различные подходы к расчету процессов теплообмена в зависимости от режимных параметров работы элементов энергетического оборудования | Знать:<br>расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования теплогидравлических процессов в условиях значительного отклонения от состояния термодинамического равновесия и принципы их моделирования в конкретных технических системах<br>способы расчета существенно неравновесных процессов переноса с целью применения их на практике для разработки энергонапряженного оборудования, машин и аппаратов высоких технологий<br>Уметь:<br>анализировать | КМ-1 Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло-массопереноса на границах раздела фаз (Коллоквиум)<br>КМ-2 Расчет термических сопротивлений при испарении и конденсации (Контрольная работа)<br>КМ-3 Определение тепловых нагрузок и скоростей движения межфазных поверхностей при кипении сверхтекучего гелия (Контрольная работа)<br>КМ-4 Методы определения форм межфазных поверхностей (Коллоквиум) |

|  |  |                                                                                                                                                                                                            |  |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>информацию о технологиях осуществления существенно неравновесных процессов переноса</p> <p>применять современные методы исследования, проводить технические испытания и (или) научные эксперименты;</p> |  |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## **II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания**

### **КМ-1. Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло-массопереноса на границах раздела фаз**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается задание, дается время на решение, затем производится опрос.

#### **Краткое содержание задания:**

Привести расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования теплогидравлических процессов в условиях значительного отклонения от состояния термодинамического равновесия и принципы их моделирования в конкретных технических системах. Описать наиболее часто используемые методы решения кинетического уравнения Больцмана.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                          | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: способы расчета существенно неравновесных процессов переноса с целью применения их на практике для разработки энергонапряженного оборудования, машин и аппаратов высоких технологий | 1. Термические сопротивления: внешнее (газодинамическое), межфазное, пленки конденсата. Роль каждого в зависимости от интенсивности процесса.<br>2. 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. |

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено, даны ответы на доп. вопросы.

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание не выполнено

### **КМ-2. Расчет термических сопротивлений при испарении и конденсации**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Слепой выбор билета с номером варианта контрольной работы, время на решение.

**Краткое содержание задания:**

На вертикальной медной стенке толщиной  $\delta=1\text{мм}$  и высотой  $H = 0,1\text{м}$  конденсируется газообразный кислород при атмосферном давлении. С другой стороны эта стенка охлаждается потоком жидкого азота, находящимся в состоянии насыщения при атмосферном давлении и движущемся вдоль поверхности стенки со скоростью  $1\text{м/с}$ . Чему равна температура стенки?

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                      | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Уметь: применять современные методы исследования, проводить технические испытания и (или) научные эксперименты;</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Решение уравнения сохранения энергии в интегральной формулировке для задач интенсивного испарения и конденсации в рамках механики сплошных сред.</li> <li>2.Применение законов сохранения в дифференциальной форме для решения задачи о конденсации чистого пара на поверхности.</li> <li>3.Законы сохранения в виде выражений молекулярно-кинетической теории. Расчет теплового потока для свободномолекулярного предела.</li> <li>4.Приближенный метод определения теплопереноса через слой разреженного газа при произвольных числах Кнудсена. Примеры применения для наноразмерных систем</li> <li>5.Определение плотности потока массы при интенсивной конденсации с помощью приближенного соотношения, полученного на базе молекулярно-кинетической теории. Сравнение с результатами применения традиционного подхода</li> <li>6.Влияние коэффициентов испарения и конденсации. Способ пересчета результатов решения задачи об интенсивной конденсации</li> <li>7.Предельные значения коэффициентов конденсации и удельных потоков массы</li> <li>8.Применение методов молекулярной динамики для задач энерго-массопереноса в двухфазных системах</li> <li>9.Испарение и конденсация при наличии неконденсируемых компонентов</li> <li>10.Определение предельной плотности газа при запаривании конденсации из парогазовой среды</li> </ol> |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания: Все задачи решены.*

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания: Задачи не решены*

**КМ-3. Определение тепловых нагрузок и скоростей движения межфазных поверхностей при кипении сверхтекучего гелия**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Слепой выбор билета с номером варианта контрольной работы, время на решение.

**Краткое содержание задания:**

В капилляре находится объем сверхтекучего гелия, длина которого  $l$  составляет  $10,4$  см. Температура гелия равна  $1,7$  К. При подаче к одной из межфазных поверхностей тепловой нагрузки  $60$  Вт/м<sup>2</sup> перемычка гелия II приходит в движение к источнику теплоты. Определите наибольший диаметр, при котором это возможно. Укажите направление движения перемычки и найдите ее скорость при вдвое большем диаметре.

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                        | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: анализировать информацию о технологиях осуществления существенно неравновесных процессов переноса | 1. Расчет восстановительных нагрузок при кипении гелия-II на нагревателях цилиндрической и шаровой формы<br>2. Эволюция паровых пленок при кипении гелия-II. Приближенный подход и расчет на основе уравнения Рэлея<br>3. Движение перемычек гелия-II в капиллярах при наличии осевого теплового потока<br>4. Определение формы межфазной поверхности азота при плавании в нем капли воды. Отличия от традиционных «гидростатических» задач<br>5. Особенности эволюции паровых образований на нагревателях цилиндрической и шаровой формы, погруженных в жидкости с низкой и высокой эффективностью теплопереноса<br>6. Применение уравнения Рэлея для решения задачи о схлопывании парогазового пузыря при сонолюминесценции. Приближенное описание явления формирования ударной волны внутри пузыря |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания: Задача решена*

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания: Задача не решена*

**КМ-4. Методы определения форм межфазных поверхностей**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается задание, дается время на решение, затем производится опрос.

**Краткое содержание задания:**

Перечислить известные методы определения форм межфазных поверхностей, дать каждому подробное объяснение.

### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                       | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>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</p> | <p>1. 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. Особенности теплообмена в Нелл при пониженной гравитации. Задачи теплопереноса в капиллярно-пористом теле, заполненном Нелл. Расчет процессов переноса в единичном капилляре при наличии продольного теплового потока.</p> <p>2. Роль направленности потоков при криоконденсации (десублимации). Расчет теплопереноса в области неприменимости законов градиентного типа. Примеры расчета течений, характеризуемых малыми числами Кнудсена, с учетом сильной неравновесности на межфазной границе.</p> <p>3. Роль процессов переноса на межфазной поверхности при определении общего термического сопротивления в системе: пар – пленка конденсата – стенка конденсатора – охлаждающий теплоноситель. Влияние неконденсируемых газов. Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными.</p> <p>4. Зависимость формы межфазной поверхности от способа подвода теплоты к границе раздела фаз пар-жидкость. Соответствующая классификация задач тепломассопереноса. Плавание горячих капель в холодных жидкостях. Пленочное кипение недогретой воды на нагревателях различной формы. Эволюция паровых пленок. Необходимость применения при описании неравновесных граничных условий.</p> <p>5. Сущность явления. Математическое</p> |

| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | описание: уравнения сохранения для жидкости и парогазовой смеси; универсальные и специальные условия совместности. Влияние испарения-конденсации на межфазной поверхности на характеристики процесса. |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: «зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания: Задание выполнено*

*Оценка: «не зачтено»*

*Описание характеристики выполнения знания: Задание не выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

### Пример билета

1. Результаты исследования процессов интенсивного испарения и конденсации методами молекулярно-кинетической теории.
2. Получите решения уравнений сохранения импульса для задачи пленочной конденсации неподвижного в продольном направлении водяного пара на вертикальной поверхности высотой  $H = 0.1 \text{ м}$ . Найдите скорости движения пара и жидкости вблизи границы раздела фаз, если известно, что давление конденсирующегося пара  $105 \text{ Па}$ , а температура поверхности, на которой осуществляется конденсация, поддерживается постоянной и равной  $T_w = 363 \text{ К}$ .

### Процедура проведения

Слепой выбор билета, время для ответа, ответ преподавателю

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-ЗПК-1 Умеет применять различные подходы к расчету процессов тепломассопереноса в зависимости от режимных параметров работы элементов энергетического оборудования

### Вопросы, задания

- 1.1. Исследование задач испарения и конденсации на основе интегральной формулировки законов сохранения массы, импульса, энергии для сплошных сред
2. В капилляре находится объем сверхтекучего гелия, длина которого  $l$  составляет  $10,4 \text{ см}$ . Температура гелия равна  $1,7 \text{ К}$ . При подаче к одной из межфазных поверхностей тепловой нагрузки  $60 \text{ Вт/м}^2$  перемычка гелия II приходит в движение к источнику теплоты. Определите наибольший диаметр, при котором это возможно. Укажите направление движения перемычки и найдите ее скорость при вдвое большем диаметре. Гелий II при  $T = 1,70 \text{ К}$

| Плотность<br>(кг/м <sup>3</sup> ) | $\eta$<br>(Па·с)    | $S$<br>(Дж/кг·К) | Плотность<br>(кг/м <sup>3</sup> ) | $r$<br>(Дж/кг) |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|----------------|
| 145,3                             | $1,3 \cdot 10^{-6}$ | 398,0            | 0,4                               | 22000,0        |

2. 1. Применение законов сохранения в дифференциальном виде для решения задачи о конденсации чистого пара
2. В плоской пластине из нержавеющей стали толщиной  $2 \text{ мм}$ , находящейся в окружающей среде при нормальном давлении, проделали  $100$  параллельных продольных сквозных зазоров, каждый из которых имеет толщину  $10 \text{ нм}$  ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ). Температура левой поверхности пластины равна  $298 \text{ К}$ , а правой  $293 \text{ К}$ . Чему равна плотность теплового потока, передаваемого через пластину? Теплопроводность нержавеющей стали –  $14 \text{ Вт/м·К}$ .
- 3.1. Представление законов сохранения методами молекулярно-кинетической теории. Расчет теплового потока для свободномолекулярного предела и переходной области

2. На вертикальной медной стенке толщиной  $\delta = 1 \text{ мм}$  и высотой  $H = 0,1 \text{ м}$  конденсируется газообразный аргон при атмосферном давлении. С другой стороны эта стенка охлаждается потоком жидкого азота, находящимся в состоянии насыщения при атмосферном давлении и движущемся вдоль поверхности стенки с определенной скоростью. Чему должна быть равна величина этой скорости для того, чтобы на стенке формировался твердый аргон?

4.1. Описание испарения и конденсации методами физической кинетики. Линейная теория Д.А.Лабунцова.

2. Полусферический нагреватель радиусом  $R_w = 5 \text{ мм}$  опускается в насыщенный азот при атмосферном давлении. Температура нагревателя  $T_w = 40^\circ \text{C}$  такова, что на поверхности образуется паровая пленка, как показано на рисунке. Определить расстояние от перегиба межфазной поверхности до зеркала жидкости, если толщина паровой пленки в этом месте  $d = 0,3 \text{ мм}$ .

5.1. Результаты исследования процессов интенсивного испарения и конденсации методами молекулярно-кинетической теории.

2. Получите решения уравнений сохранения импульса для задачи пленочной конденсации неподвижного в продольном направлении водяного пара на вертикальной поверхности высотой  $H = 0,1 \text{ м}$ . Найдите скорости движения пара и жидкости вблизи границы раздела фаз, если известно, что давление конденсирующегося пара  $105 \text{ Па}$ , а температура поверхности, на которой осуществляется конденсация, поддерживается постоянной и равной  $T_w = 363 \text{ К}$ .

6.1. Коэффициенты испарения и конденсации. Определения этих понятий. Методика расчета интенсивностей соответствующих процессов переноса для диффузной схемы испарения и отражения молекул при произвольных значениях коэффициентов испарения и конденсации. Их предельные значения.

2. На межфазную поверхность, поддерживаемую при постоянной температуре  $T_s$ , натекает поток газообразного азота со скоростью, соответствующей числу Маха  $M_\infty = 0,65$ , в режиме одномерной стационарной десублимации. При коэффициенте конденсации  $\beta = 1$  отношение  $P_\infty/P_s = 8,0$ , где  $P_s$  – давление насыщения, соответствующее температуре межфазной поверхности  $T_s$ , а  $P_\infty$  – давление натекающего аргона. Чему равно отношение температуры пара вдали от границы раздела фаз  $T_\infty$  к  $T_s$ ? Для какого отношения давлений  $P_\infty/P_s$  возможно поддержание заданного числа Маха  $M_\infty = 0,65$  при  $\beta = 0,9$  и  $\beta = 0,8$ ?

7.1. Применение законов сохранения в дифференциальном виде для решения задачи о конденсации чистого пара.

2. На межфазную поверхность, поддерживаемую при постоянной температуре  $T_s$ , натекает поток газообразного аргона со скоростью, соответствующей числу Маха  $M_\infty = 0,7$ , в режиме одномерной стационарной десублимации. При коэффициенте конденсации  $\beta = 1$  отношение  $P_\infty/P_s = 5,0$ , где  $P_s$  – давление насыщения, соответствующее температуре межфазной поверхности  $T_s$ , а  $P_\infty$  – давление натекающего аргона. Чему равно отношение температуры пара вдали от границы раздела фаз  $T_\infty$  к  $T_s$ ? Для какого отношения давлений  $P_\infty/P_s$  возможно поддержание заданного числа Маха  $M_\infty = 0,7$  при  $\beta = 0,93$  и  $\beta = 0,85$ ?

8.1 Исследование задач испарения и конденсации на основе интегральной формулировки законов сохранения массы, импульса, энергии для сплошных сред.

2. Определите при какой глубине погружения в гелий II плоского нагревателя на нем осуществляется стационарное бесшумовое кипение для величины удельного теплового потока, выделяемого нагревателем  $q_w = 0,95 \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$ . При этом значении  $q_w$

обеспечивается постоянство толщины паровой пленки для искомой глубины погружения нагревателя. Температура свободной межфазной поверхности гелий II - пар  $T_i$  равняется  $2\text{ K}$ .

9.1. Основные принципы молекулярно-динамического моделирования (МД). Характерные пространственные и временные масштабы. Возможности МД. Расчет коэффициентов конденсации методами МД.

2. При стационарном бесшумовом кипении на плоском нагревателе, погруженном в гелий II на определенную глубину  $h$ , образовалась паровая пленка. Толщина этой пленки  $d$  с течением времени остается постоянной. Чему равно значение  $d$ , если известно, что давление пара  $P^2$  в пленке равняется  $3884\text{ Па}$ , температура свободной межфазной поверхности гелий II - пар  $T_i$  равняется  $2\text{ K}$ , температура поверхности нагревателя  $T_W$ , при которой обеспечивается поддержание заданного значения  $d$  равняется  $64\text{ K}$ . Принять в первом приближении, что теплопроводность газообразного гелия при  $33\text{ K}$  равна  $0.04\text{ Вт/м}\cdot\text{K}$ .

10.1. Классификация задач тепломассопереноса при определении форм межфазных поверхностей жидкость – пар. Применение различных методов для соответствующих описаний.

2. Определите при какой глубине погружения в гелий II плоского нагревателя на нем осуществляется стационарное бесшумовое кипение для величины удельного теплового потока, выделяемого нагревателем  $qW = 104\text{ Вт/м}^2$ . При этом значении  $qW$  обеспечивается постоянство толщины паровой пленки для искомой глубины погружения нагревателя. Температура свободной межфазной поверхности гелий II - пар  $T_i$  равняется  $2\text{ K}$ .

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое конденсация

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: Процесс фазового перехода из газообразного в жидкое состояние

2. Что такое Число Кнудсена

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: Один из критериев подобия движения разреженных газов

3. Что такое средняя длина свободного пробега

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: это среднее расстояние, которое пролетает частица за время между двумя последовательными столкновениями

4. Какие вам известны методы решения кинетического уравнения Больцмана

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: Линейная теория. Моментный метод решения одномерных задач.

Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана (для разных чисел Кнудсена, многомерные задачи). Прямое статистическое моделирование. Модельные уравнения.

5. Что такое сонолюминесценция

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: Явление возникновения вспышки света при схлопывании кавитационных пузырьков, рождённых в жидкости мощной ультразвуковой волной.

6. Что такое кавитация?

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: физический процесс образования пузырьков (каверн, или пустот) в жидких средах, с последующим их схлопыванием и высвобождением большого количества энергии

7. При какой температуре гелий переходит в сверхтекучее состояние

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: около 2,17 К

8. При какой температуре азот становится жидким

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: 77 К

9. Что такое испарение

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: Процесс фазового перехода из жидкого в газообразное состояние

10. Что стоит в правой части кинетического уравнения Больцмана

Ответы:

Дать устный ответ и/или написать формулу

Верный ответ: Интеграл столкновений

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Дан полный ответ на вопрос, решена задача*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Дан ответ на вопрос, задача решена с неточностями*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Дан ответ на вопрос, задача решена частично - ход решения указан*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Не дан ответ на вопрос и/или полностью не решена задача*

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.