

**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: Теплофизика и молекулярная физика**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Физическая кинетика**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Захарова О.Д.
	Идентификатор	R53984920-ZakharovaOD-5e59536

(подпись)

О.Д.

Захарова

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

(подпись)

Д.Н.

Герасимов

(расшифровка  
подписи)

## 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, используемые в атомной энергетике

ИД-1 Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Сечения столкновений молекул. Кинетическое уравнение Больцмана» (Домашнее задание)
2. Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц» (Домашнее задание)
3. Контрольный опрос «Полевое описание неравновесной системы. Функция распределения молекул» (Домашнее задание)
4. Контрольный опрос «Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах. Кинетическая теория процессов переноса» (Домашнее задание)

## БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Основы кинетической теории. Функция распределения.					
Полевое описание неравновесной системы. Локальные средние значения динамических переменных. Локальные удельные термодинамические функции и их локальные плотности	+				
Локальные плотности потоков динамических переменных	+				
Функции распределения, средние значения и потоки в смесях	+				
Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах					
Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах			+		
Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения. Угол рассеяния частиц.					

Столкновения молекул. Межмолекулярное взаимодействие. Процесс парного столкновения			+	
Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц			+	
Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения. Кинетическое уравнение Больцмана.				
Сечения столкновений молекул. Дифференциальное сечение рассеяния. Газокинетические сечения				+
Кинетическое уравнение Больцмана.				+
Вес КМ:	20	20	30	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## 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-1 <sub>ПК-1</sub> Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок	<p>Знать:</p> <p>современные достижения в области определения свойств веществ и параметров высокотемпературных и высокоэнергетичных процессов</p> <p>методы расчета теплофизических параметров веществ, основанные на молекулярно-кинетической теории</p> <p>способы описания физических процессов с помощью функций распределения молекул</p> <p>Уметь:</p> <p>выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в заданных агрегатных состояниях</p>	<p>Контрольный опрос «Полевое описание неравновесной системы. Функция распределения молекул» (Домашнее задание)</p> <p>Контрольный опрос «Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах. Кинетическая теория процессов переноса» (Домашнее задание)</p> <p>Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц» (Домашнее задание)</p> <p>Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Сечения столкновений молекул. Кинетическое уравнение Больцмана» (Домашнее задание)</p>

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

### КМ-1. Контрольный опрос «Полевое описание неравновесной системы. Функция распределения молекул»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается перечень вопросов к пройденному материалу. Вопросы приведены в тексте учебного пособия. Студент прорабатывает вопросы дома, ориентируясь на знания, полученные в ходе семинаров и лекций.

#### Краткое содержание задания:

Все вопросы задания формируются из вопросов и задач, приведенных в учебном пособии по курсу.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: способы описания физических процессов с помощью функций распределения молекул	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Как вычислить локальную плотность числа молекул, зная функцию распределения? А можно ли вычислить функцию распределения, зная локальную плотность числа частиц?</li><li>2. Какая функция описывает распределение молекул по скоростям?</li><li>3. Объясните разницу между средним значением динамической переменной молекулы и локальным средним значением.</li><li>4. Почему локально – равновесная функция распределения не описывает какого-либо реального состояния неравновесной системы молекул?</li><li>5. Почему невозможно записать формулу для вычисления локальной внутренней энергии неравновесной системы взаимодействующих молекул, используя одночастичную функцию распределения? Какая функция распределения для этой цели потребуется, если потенциальная энергия взаимодействия молекул попарно аддитивна?</li></ol>
--------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

## **КМ-2. Контрольный опрос «Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах. Кинетическая теория процессов переноса»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается перечень вопросов к пройденному материалу. Вопросы приведены в тексте учебного пособия. Студент прорабатывает вопросы дома, ориентируясь на знания, полученные в ходе семинаров и лекций.

### **Краткое содержание задания:**

Все вопросы задания формируются из вопросов и задач, приведенных в учебном пособии по курсу.

### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы расчета теплофизических параметров веществ, основанные на молекулярно-кинетической теории	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Какие допущения и приближения сделаны при выводе уравнения переноса (2.2.4), которое лежит в основе ЭКТ?</li><li>2. Как объясняет ЭКТ эмпирический закон Ньютона (2.2.18)? Почему вязкое напряжение пропорционально градиенту скорости течения сплошной среды и направлено в сторону, противоположную направлению течения?</li><li>3. Как объясняет ЭКТ эмпирический закон Фурье (2.2.22)? Почему плотность теплового потока пропорциональна градиенту температуры и направлена в сторону, обратную этому градиенту?</li><li>4. Какие выводы ЭКТ, касающиеся процессов переноса в разреженных газах, расходятся с экспериментом или противоречат опытным фактам?</li></ol>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-3. Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса.

#### Столкновения молекул. Угол рассеяния частиц»

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается перечень вопросов к пройденному материалу. Вопросы приведены в тексте учебного пособия. Студент прорабатывает вопросы дома, ориентируясь на знания, полученные в ходе семинаров и лекций.

#### **Краткое содержание задания:**

Все вопросы задания формируются из вопросов и задач, приведенных в учебном пособии по курсу.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: современные достижения в области определения свойств веществ и параметров высокотемпературных и высокоэнергетических процессов</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Какие особенности поведения вещества качественно свидетельствуют о возникновении мощных сил отталкивания при сближении молекул на малые расстояния? о наличии сил притяжения между молекулами, находящимися на «средних» расстояниях друг от друга? об исчезновении сил взаимодействия между молекулами при значительном удалении их друг от друга?</li><li>2.Нарисуйте график зависимости от расстояния между молекулами потенциала межмолекулярного взаимодействия, описывающего притяжение между молекулами на больших расстояниях и отталкивание на малых. Укажите характерные точки на этом графике.</li><li>3.Что такое прицельное расстояние столкновения между молекулами?</li><li>4.Может ли быть упругим столкновение между молекулами, которые обладают внутренними степенями свободы?</li><li>5.Что такое плоскость рассеяния и почему её положение в пространстве остаётся фиксированным в течение всего процесса столкновения двух частиц, взаимодействующих центральной силой?</li></ol>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*



*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

#### **КМ-4. Контрольный опрос «Кинетическая теория процессов переноса. Сечения столкновений молекул. Кинетическое уравнение Больцмана»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдается перечень вопросов к пройденному материалу. Вопросы приведены в тексте учебного пособия. Студент прорабатывает вопросы дома, ориентируясь на знания, полученные в ходе семинаров и лекций.

#### **Краткое содержание задания:**

Все вопросы задания формируются из вопросов и задач, приведенных в учебном пособии по курсу.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выбирать конкретные методы для определения параметров веществ в заданных агрегатных состояниях	1. Выведите формулу (4.1.15) для расчёта дифференциального сечения рассеяния молекул – твёрдых шаров. Прокомментируйте результат. 2. Постройте (качественно) графики зависимости дифференциального сечения рассеяния одноимённо и разноимённо заряженных частиц от относительной энергии сталкивающихся частиц и угла рассеяния.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Локальные удельные термодинамические функции и их локальные плотности. Локальная удельная внутренняя энергия.  
*Почему невозможно записать формулу для вычисления локальной внутренней энергии неравновесной системы взаимодействующих молекул, используя одночастичную функцию распределения? Какая функция распределения для этой цели потребуется, если потенциальная энергия взаимодействия молекул попарно аддитивна?*
2. Угол рассеяния частиц. Заряженные частицы.  
*Постройте (качественно) траекторию относительного движения сталкивающихся одноимённо заряженных частиц, расстояние наибольшего сближения и угол рассеяния в зависимости от прицельного расстояния и энергии относительного движения.*

### Процедура проведения

Стандартная процедура устного экзамена.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок

### Вопросы, задания

- 1.1. Распределение молекул по пространству и скоростям. Функция распределения молекул.  
*Почему локально – равновесная функция распределения не описывает какого-либо реального состояния неравновесной системы молекул?*
2. Газокинетические сечения.  
*Сформулируйте определение сечения потери энергии частиц в процессе рассеяния, пояснив это определение рисунком. Насколько сильно отличаются эти сечения от диффузионных сечений? (На доли единицы, в разы, на порядки).*
  - 2.1. Локальные плотности потоков динамических переменных. Плотность потока собственной энергии.  
*Объясните физический смысл всех трёх слагаемых в выражении для вычисления плотности потока собственной энергии.*
2. Угол рассеяния частиц. Частицы – твёрдые шары.  
*Постройте (качественно) траекторию относительного движения сталкивающихся частиц, взаимодействующих как твёрдые шары, и угол рассеяния в зависимости от прицельного расстояния.*
3. Элементарная кинетическая теория процессов переноса в газах.  
*Почему формулами для подсчёта средней частоты столкновений и средней длины свободного пробега молекул нельзя пользоваться, если газ не является разреженным?*

## 2. Плоскость рассеяния.

*Что такое плоскость рассеяния и почему её положение в пространстве остаётся фиксированным в течение всего процесса столкновения двух частиц, взаимодействующих центральной силой?*

### 4.1. Угол рассеяния частиц. Частицы – твёрдые шары.

*Постройте (качественно) траекторию относительного движения сталкивающихся частиц, взаимодействующих как твёрдые шары, и угол рассеяния в зависимости от прицельного расстояния.*

## 2. Процесс парного столкновения.

*Какие динамические переменные являются интегралами движения при парном столкновении молекул? Какие динамические переменные являются инвариантами парного упругого столкновения? Может ли быть упругим столкновение между молекулами, которые обладают внутренними степенями свободы?*

### 5.1. Локальные плотности потоков динамических переменных. Плотность потока собственной энергии.

*Объясните физический смысл всех трёх слагаемых в выражении для вычисления плотности потока собственной энергии.*

## 2. Столкновения молекул

*Что такое расстояние наибольшего сближения между молекулами при столкновении?*

*Что такое прицельное расстояние столкновения между молекулами?*

## **Материалы для проверки остаточных знаний**

### 1. Одночастичная функция распределения зависит от следующих параметров

Ответы:

1) трех проекций скорости, задающих положение в фазовом пространстве скоростей частиц, 2) трех проекций координат, задающих положение рассматриваемой точки пространства, и времени, 3) времени, трех проекций координат заданной точки пространства и трех проекций скорости, задающих положение в фазовом пространстве скоростей частиц.

Верный ответ: 3) времени, трех проекций координат заданной точки пространства и трех проекций скорости, задающих положение в фазовом пространстве скоростей частиц.

### 2. Число Кнудсена (параметр Кнудсена) можно оценить, зная

Ответы:

1) длину свободного пробега молекулы, 2) локальную температуру системы, 3) сечение столкновения молекул

Верный ответ: 1) длину свободного пробега молекулы

### 3. Кинетическое уравнение Больцмана позволяет найти

Ответы:

1) скорость изменения одночастичной функции распределения, 2) энергию межмолекулярного взаимодействия, 3) частоту столкновения частиц в системе

Верный ответ: 1) скорость изменения одночастичной функции распределения

### 4. Прицельный параметр в задаче столкновения двух частиц

Ответы:

1) определяется плотностью системы и средним расстоянием между частицами, 2) определяется начальной энергией сталкивающихся частиц, 3) является независимым параметром и определяется взаимным расположением частиц в начальный момент времени.

Верный ответ: 3) является независимым параметром и определяется взаимным расположением частиц в начальный момент времени

5. Потенциал межмолекулярного взаимодействия Ленарда-Джонса

Ответы:

1) описывает отталкивание между частицами во всем диапазоне межмолекулярных расстояний, 2) описывает притяжение во всем диапазоне межмолекулярных расстояний, 3) описывает отталкивание на малых и притяжение на больших межмолекулярных расстояниях.

Верный ответ: 3) описывает отталкивание на малых и притяжение на больших межмолекулярных расстояниях

6. Размерность сечения рассеяния

Ответы:

$[m^2]$ ,  $[1/m^2]$ ,  $[m^2/c]$

Верный ответ:  $[m^2]$

7. Длина свободного пробега молекулы это:

Ответы:

1) расстояние, которое проходит молекула до следующего столкновения с другой молекулой; 2) расстояние, которое проходит молекула до столкновения со стенкой.

Верный ответ: 1) расстояние, которое проходит молекула до следующего столкновения с другой молекулой

8. Модель твердых сфер требует определения такого параметра, как

Ответы:

1) диаметр сферы, 2) объем сферы, 3) площадь сферы

Верный ответ: 1) диаметр сферы

9. Потенциал взаимодействия твердых сфер предполагает

Ответы:

1) притяжение на больших расстояниях и отталкивание на малых, 2) отталкивание во всей области межатомных расстояний, 3) бесконечную силу отталкивания при расстояниях, меньших критического расстояния, равного диаметру сферы.

Верный ответ: 3) бесконечную силу отталкивания при расстояниях, меньших критического расстояния, равного диаметру сферы

10. В процессе рассеяния пробная частица

Ответы:

1) всегда отталкивается от рассеивающего центра, 2) всегда притягивается к рассеивающему центру, 3) может как отталкиваться так и притягиваться к рассеивающему центру.

Верный ответ: 3) может как отталкиваться так и притягиваться к рассеивающему центру

11. Расходимость сечений рассеяния говорит о том, что

Ответы:

1) бесконечное число частиц в потоке отклоняется на углы, близкие к нулю, 2) в потоке есть частицы, обладающие скоростями и энергиями много больше средней скорости.

Верный ответ: 1) бесконечное число частиц в потоке отклоняется на углы, близкие к нулю

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

### ***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 аттестационной составляющих.