

**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: Термоядерные реакторы и плазменные установки**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Элементарные процессы в плазме**

**Москва**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Афанасьев В.П.
	Идентификатор	Rd662399b-AfanasyevVP-e234fce

(подпись)

В.П.  
Афанасьев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(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-5 Способен принимать участие в расчетах характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования, ядерных и плазменных установок

ИД-5 Владеет подходами, направленными на получение данных о сечениях рассеяния в термоядерной плазме и данных о сечениях взаимодействия плазмы с материалами

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Защита второй части расчетного задания («Определение границ применимости и параметра экранирования сечения Резерфорда для расчета процессов рассеяния легких ионов, на основе сравнения с данными по дифференциальным сечениям полученным на основе потенциала  $KrC$ ») (Проверочная работа)

2. Защита первой части расчетного задания («Определение границ применимости и параметра экранирования сечения Резерфорда для расчета процессов электронного рассеяния, на основе сравнения с данными по дифференциальным сечениям, представленным в NIST») (Проверочная работа)

3. Тест 1. Тест на знание энергетической и угловой зависимости сечения Резерфорда (Тестирование)

4. Тест 2. Тест на знание границ применимости Теории Томпсона, Теории Бете-Блоха (Тестирование)

5. Тест 3. Тест по энергоанализаторам (Тестирование)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	15	16
Взаимодействие частиц в плазме. Взаимодействие плазмы с поверхностями материалов. Элементарные процессы, характерные параметры						
Взаимодействие частиц в плазме. Взаимодействие плазмы с поверхностями материалов. Элементарные процессы, характерные параметры	+	+				
Сечения упругого рассеяния. Сечение Резерфорда. Степенная аппроксимация упругих сечений						
Сечения упругого рассеяния. Сечение Резерфорда. Степенная аппроксимация упругих сечений				+		

Сечения неупругого рассеяния. Теория Томпсона. Процесс ионизации. Теория Бете-Блоха					
Сечения неупругого рассеяния. Теория Томпсона. Процесс ионизации. Теория Бете-Блоха			+	+	
Нелокальные потери энергии. Квантовомеханический подход. Классическая дисперсионная теория					
Нелокальные потери энергии. Квантовомеханический подход. Классическая дисперсионная теория				+	
Эксперименты по угловым распределениям упруго- отраженных электронов и ионов					
Эксперименты по угловым распределениям упруго- отраженных электронов и ионов				+	+
Эксперименты по характеристическим потерям энергии					
Эксперименты по характеристическим потерям энергии				+	+
Вес КМ:	15	15	15	25	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-5	ИД-5ПК-5 Владеет подходами, направленными на получение данных о сечениях рассеяния в термоядерной плазме и данных о сечениях взаимодействия плазмы с материалами	<p>Знать:</p> <p>основные понятия физики элементарных процессов в плазме и методы ее экспериментального и теоретического исследования взаимодействия частиц в плазме</p> <p>основные источники научно-технической информации по физике элементарных процессов в плазме; физические основы взаимодействия высокотемпературной плазмы с поверхностями</p> <p>Уметь:</p> <p>использовать основные законы физики элементарных процессов в плазме в профессиональной деятельности, применять методы математической</p>	<p>Тест 1. Тест на знание энергетической и угловой зависимости сечения Резерфорда (Тестирование)</p> <p>Тест 2. Тест на знание границ применимости Теории Томпсона, Теории Бете-Блоха (Тестирование)</p> <p>Тест 3. Тест по энергоанализаторам (Тестирование)</p> <p>Защита первой части расчетного задания («Определение границ применимости и параметра экранирования сечения Резерфорда для расчета процессов электронного рассеяния, на основе сравнения с данными по дифференциальным сечениям, представленным в NIST») (Проверочная работа)</p> <p>Защита второй части расчетного задания («Определение границ применимости и параметра экранирования сечения Резерфорда для расчета процессов рассеяния легких ионов, на основе сравнения с данными по дифференциальным сечениям полученным на основе потенциала КrС») (Проверочная работа)</p>

		физики имитационного моделирования, явлений взаимодействия высокотемпературной плазмы с конструкционными поверхностями выполнять расчеты сечений процессов, протекающих в термоядерном реакторе на основе существующих методик применять фундаментальные знания для решения задач применительно к реальным процессам	
--	--	--	--

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

### КМ-1. Тест 1. Тест на знание энергетической и угловой зависимости сечения Резерфорда

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам предлагается письменно ответить на поставленные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные источники научно-технической информации по физике элементарных процессов в плазме; физические основы взаимодействия высокотемпературной плазмы с поверхностями	<ol style="list-style-type: none"><li>1. На основе каких уравнений строится вывод Резерфордовского сечения?</li><li>2. Дайте определение «дифференциального сечения упругого рассеяния»</li><li>3. Границы применимости Резерфордовского сечения</li><li>4. Параметр экранирования – что это, возможно ли его определение в рамках классической, Ньютоновской теории?</li><li>5. Особенности упругого рассеяния атомных частиц на свободных атомах и атомах в твердом теле</li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 75*

*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: 60*

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

### КМ-2. Тест 2. Тест на знание границ применимости Теории Томпсона, Теории Бете-Блоха

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам предлагается письменно ответить на поставленные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные понятия физики элементарных процессов в плазме и методы ее экспериментального и теоретического исследования взаимодействия частиц в плазме	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дайте определение «дифференциального сечения неупругого рассеяния»</li> <li>2. На основе каких уравнений строится вывод сечения Томсона?</li> <li>3. Сечение ионизации Томсона – границы применимости и возможности расширения границ применимости</li> <li>4. Нелокальные потери энергии – что это? Возможно ли их описание в рамках теории Томсона?</li> <li>5. На основе каких подходов возможно построение Теории Бете – Блоха?</li> </ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 75*

*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: 60*

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

**КМ-3. Тест 3. Тест по энергоанализаторам**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам предлагается письменно ответить на поставленные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: использовать основные законы физики элементарных процессов в плазме в профессиональной деятельности, применять методы математической физики имитационного моделирования, явлений взаимодействия высокотемпературной плазмы с	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможно ли одновременное измерение энергетических спектров ионов и нейтральных атомов?</li> <li>2. Что означает утверждение: «сферический энергоанализатор обладает двойной фокустировкой»?</li> <li>3. Сферический энергоанализатор, вывод связи энергии детектируемых частиц и разности потенциалов между обкладками</li> <li>4. Энергоанализатор Юза – Рожанского – схема,</li> </ol>
---	---



конструкционными поверхностями	принцип действия 5. Типы энергоанализаторов, принципы действия?
--------------------------------	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 75*

*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: 60*

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

**КМ-4. Защита первой части расчетного задания («Определение границ применимости и параметра экранирования сечения Резерфорда для расчета процессов электронного рассеяния, на основе сравнения с данными по дифференциальным сечениям, представленным в NIST»)**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Проверочная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам предлагается письменно ответить на поставленные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выполнять расчеты сечений процессов, протекающих в термоядерном реакторе на основе существующих методик	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В чем смысл модели рассеяния электронов в твердых телах под названием «Muffin Tin»?</li> <li>2. При каких энергиях налетающих электронов наиболее неблагоприятно использование формулы Резерфорда?</li> <li>3. Возможно ли использовать сечение Резерфорда для описания рассеяния электронов на многоэлектронных атомах типа золота и вольфрама?</li> <li>4. Возможно ли использовать сечение Хеньи – Гринштейна для описания рассеяния на многоэлектронных атомах типа золота и вольфрама?</li> <li>5. Что означает утверждение: дифференциальное сечение упругого рассеяния Резерфорда «сильно вытянуто вперед»?</li> </ol>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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:* 75

*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:* 60

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

**КМ-5. Защита второй части расчетного задания («Определение границ применимости и параметра экранирования сечения Резерфорда для расчета процессов рассеяния легких ионов, на основе сравнения с данными по дифференциальным сечениям полученным на основе потенциала  $KrC$ »)**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Проверочная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентам предлагается письменно ответить на поставленные вопросы

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: применять фундаментальные знания для решения задач применительно к реальным процессам</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Почему для описания рассеяния легких ионов в твердых телах модель «Muffin Tin» не имеет смысла?</li><li>2. При каких энергиях налетающих ионов наиболее неблагоприятно использование формулы Резерфорда?</li><li>3. Возможно ли использовать сечение Резерфорда для описания рассеяния легких ионов на многоэлектронных атомах типа золота и вольфрама?</li><li>4. Возможно ли использовать сечение Хеньи – Гринштейна для описания рассеяния легких ионов?</li></ol>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 90

*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:* 75

*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:* 60

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



# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

**Пример билета**

Билет №1

1. Особенности процессов взаимодействия атомных частиц в высокотемпературной плазме
2. Определить сечение локального неупругого взаимодействия для потенциала  $U(r)=1/r^{1+a}$

**Процедура проведения**

Студенты получают билеты, делают письменный развёрнутый ответ на каждый вопрос билета и сдают их

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-5<sub>ПК-5</sub> Владеет подходами, направленными на получение данных о сечениях рассеяния в термоядерной плазме и данных о сечениях взаимодействия плазмы с материалами

**Вопросы, задания**

1. Билет №1

1. Решение уравнения упругого переноса. Асимптотика для больших пробегов.
2. Частота плазменных колебаний, энергия плазмона.

2. Билет №2

1. Процесс неупругого рассеяния, основные параметры процесса: средняя длина неупругого процесса, средние потери энергии на единице длины, остаточный пробег. Вывод указанных параметров для локальных потерь энергии.
2. Вывод формулы Резерфорда.

3. Билет №3

1. Сечение упругого взаимодействия. Вывод дифференциального по телесному углу сечения упругого рассеяния. Формула Резерфорда.
2. Дисперсионная теория нелокальных неупругих потерь энергии. Ленгмюровские возбуждения.

4. Билет №4

1. Виды сечений взаимодействия (локальные, нелокальные, упругие, неупругие).
2. Определить сечение локального неупругого взаимодействия для потенциала  $U(r)=1/r^{1+a}$

5. Билет №5

1. Виды сечений взаимодействия (полные, дифференциальные).
2. Определить сечение локального неупругого взаимодействия для потенциала  $U(r)=1/r^{1+a}$

6. Билет №6

1. Особенности процессов взаимодействия атомных частиц в высокотемпературной плазме
2. Определить сечение локального неупругого взаимодействия для потенциала  $U(r)=1/r^{1+a}$

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Увеличение заряда ядра ведет к смещению линий

Ответы:

в длинноволновую область; в коротковолновую область; не приводит к смещению; нет правильного ответа.

Верный ответ: в коротковолновую область

2. Принцип инвариантности формулирует:

Ответы:

если полосу вещества толщиной  $x$  с нижней границы слоя перенести на верхнюю, то слой останется самим собой, а функции  $R$  и  $T$  будут другими; если полосу вещества толщиной  $x$  с нижней границы слоя перенести на верхнюю, то слой останется самим собой и функция  $R$  останется прежней, а функция  $T$  будет другой; если полосу вещества толщиной  $x$  с нижней границы слоя перенести на верхнюю, то слой останется самим собой и функции  $R$  и  $T$  также останутся прежними; нет правильного ответа.

Верный ответ: если полосу вещества толщиной  $x$  с нижней границы слоя перенести на верхнюю, то слой останется самим собой и функции  $R$  и  $T$  также останутся прежними

3. Выберите верное утверждение:

Ответы:

изотропизация потока атомных частиц происходит практически без потерь энергии; изотропизация потока атомных частиц происходит с потерями энергии; изотропизация потока атомных частиц происходит абсолютно без потерь энергии; нет правильного ответа.

Верный ответ: изотропизация потока атомных частиц происходит практически без потерь энергии

4. Транспортный пробег -

Ответы:

определяет то расстояние, на котором происходит поворот движения атомных частиц на противоположное направлению начального влета в мишень, за счет процесса однократного рассеяния; определяет то расстояние, на котором происходит поворот движения атомных частиц на противоположное направлению начального влета в мишень, за счет процесса многократного рассеяния; определяет то расстояние, на котором происходит поворот движения атомных частиц; нет правильного ответа.

Верный ответ: определяет то расстояние, на котором происходит поворот движения атомных частиц на противоположное направлению начального влета в мишень, за счет процесса многократного рассеяния

5. При взаимодействии потока быстрых атомных частиц с мишенью, толщина которой намного превышает и транспортный и полный пробег частиц в материале мишени:

Ответы:

часть их затормаживается и остается в твердом теле, а часть рассеивается назад; затормаживаются все частицы; часть их затормаживается и остается в твердом теле, а часть рассеивается вперед; нет правильного ответа.

Верный ответ: часть их затормаживается и остается в твердом теле, а часть рассеивается назад

6. Выберите верное утверждение (уравнение переноса в приближении малых передач энергии с учетом флуктуаций энергетических потерь):

Ответы:

диффузионное приближение применимо, если максимальная передаваемая энергия становится сравнимой с энергией частицы; диффузионное приближение неприменимо, если максимальная передаваемая энергия становится сравнимой с энергией частицы; диффузионное приближение неприменимо, если максимальная передаваемая энергия

становится меньше энергии частицы; диффузионное приближение неприменимо, если максимальная передаваемая энергия становится больше энергии частицы;

Верный ответ: диффузионное приближение неприменимо, если максимальная передаваемая энергия становится сравнимой с энергией частицы

7. На длине пробега частицы порядка транспортной частица

Ответы:

не меняет направление движения; незначительно меняет направление движения; меняет направление движения на обратное; нет правильного ответа.

Верный ответ: меняет направление движения на обратное

8. Потери энергии на упругие ядерные столкновения наиболее эффективны в случае

Ответы:

разных масс налетающие частицы; равенства масс налетающие частицы; разных масс, отличающихся на порядки, налетающие частицы; нет правильного ответа.

Верный ответ: равенства масс налетающие частицы;

9. Неупругие процессы столкновения атомных частиц

Ответы:

процессы, при которых происходит изменение внутреннего состояния одной из них; процессы, при которых не происходит изменение внутреннего состояния одной из них; процессы, при которых происходит изменение внешнего состояния одной из них; нет правильного ответа.

Верный ответ: процессы, при которых происходит изменение внутреннего состояния одной из них;

10. Перечислите каналы формирования потока обратно отражённых электронов:

Ответы:

за счет маловероятных отклонений на большие углы в однократных рассеяниях и рассеяниях малой кратности; многократные отклонения на малые углы; многократные отклонения на большие углы; всё вышеперечисленное.

Верный ответ: за счет маловероятных отклонений на большие углы в однократных рассеяниях и рассеяниях малой кратности; многократные отклонения на малые углы

11. Волновая функция полностью описывает состояние системы, состоящей из

Ответы:

одной частицы; нескольких частиц; одной или нескольких частиц; нет правильного ответа.

Верный ответ: одной или нескольких частиц

12. Требования, которые накладывают условие сохранения числа частиц на собственные функции во всей области изменения аргумента:

Ответы:

конечность, непрерывность, однозначность; непрерывность, однозначность; дискретность, конечность; нет правильного ответа.

Верный ответ: конечность, непрерывность, однозначность

13. Выберите верное утверждение:

Ответы:

формирование потока обратно отраженных электронов идет по двум каналам; формирование потока обратно отраженных электронов идет по трём каналам; формирование потока обратно отраженных электронов идет по одному каналу; нет правильного ответа.

Верный ответ: формирование потока обратно отраженных электронов идет по двум каналам

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 75*

*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: 60*

*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.