

**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: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**


**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Методы диагностики плазмы**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:


Преподаватель  
(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

М.В.  
Лукашевский  
(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы  
(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

М.В.  
Лукашевский  
(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

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-2 Способен применять расчетно-теоретические методы и экспериментальные навыки исследования процессов, используемых в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках

ИД-3 Знает основные методы диагностики высоко- и низкотемпературной плазмы

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Макроскопические измерения в плазме, зондовые измерения в плазме (Контрольная работа)
2. Оптическая спектроскопия (Контрольная работа)
3. Спектроскопия плазмы. Лазерные методы диагностики плазмы (Контрольная работа)
4. Техника СВЧ. СВЧ диагностика плазмы (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторных работ (Перекрестный опрос)

## БРС дисциплины

1 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
Спектроскопия плазмы						
Спектроскопия плазмы		+				+
Лазерные методы измерения параметров плазмы						
Лазерные методы измерения параметров плазмы			+			+
Макроскопические измерения в плазме						
Макроскопические измерения в плазме				+		
Зондовые измерения						
Зондовые измерения				+		+

Микроволновая диагностика плазмы					
Микроволновая диагностика плазмы				+	
Вес КМ:	18	17	18	17	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-2	ИД-3ПК-2 Знает основные методы диагностики высоко- и низкотемпературной плазмы	Знать: особенности микроволнового диапазона излучения, принцип действия основных ВЧ-приборов, применение микроволнового диапазона в диагностике плазмы основные методы измерения макроскопических параметров плазмы, зондовых измерений в плазме, характеристики методов возможности и особенности лазерных методов диагностики плазмы основы техники спектроскопии в оптическом диапазоне Уметь: применять методы диагностики плазмы	Оптическая спектроскопия (Контрольная работа) Спектроскопия плазмы. Лазерные методы диагностики плазмы (Контрольная работа) Макроскопические измерения в плазме, зондовые измерения в плазме (Контрольная работа) Техника СВЧ. СВЧ диагностика плазмы (Контрольная работа) Защита лабораторных работ (Перекрестный опрос)

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

### КМ-1. Оптическая спектроскопия

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

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 18

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент получает вопросы, Ответы выполняются письменно с последующей проверкой

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основы техники спектроскопии в оптическом диапазоне	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Система уравнений модели ЛТР плазмы, перечень входящих в нее параметров плазмы</li><li>2. Формула для коэффициента испускания при спонтанном излучении атома. С пояснениями</li><li>3. Определение параметров плазмы по штарковскому уширению.</li><li>4. Типы приборов высокой разрешающей силы (принцип действия и оптическая схема, преимущества, недостатки)</li><li>5. Дифракционная решетка, спектры разных порядков, переложение порядков</li></ol>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*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: 70*

*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. Спектроскопия плазмы. Лазерные методы диагностики плазмы

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

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 17

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент получает вопросы, Ответы выполняются письменно с последующей проверкой

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: возможности и особенности лазерных методов диагностики плазмы	1. Назовите физические основы работы лазера, перечислите основные компоненты прибора 2. Оптическая схема и основные соотношения для методов теневого фотографирования, метода Теплера 3. Основные оптические схемы интерферометров, применяемые в диагностике плазмы, принцип действия, чувствительность. Сдвиговой интерферометр 4. Схемы и методы стабилизации измерительного плеча интерферометров. Двухволновые интерферометры 5. Лазерная поляриметрия. Схема и описание комплексного исследования магнитных полей в импульсной плазме
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*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: 70*

*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. Макроскопические измерения в плазме, зондовые измерения в плазме**

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

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 18

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент получает вопросы, Ответы выполняются письменно с последующей проверкой

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные методы измерения макроскопических параметров плазмы, зондовых измерений в плазме, характеристики методов	1. Сделайте сравнительную характеристику пьезокристаллических датчиков давления плазмы с передающими стержнями и непосредственно воспринимающими импульс 2. Назовите основное преимущество пояса Роговского для измерения тока плазмы 3. Изобразите вольт-амперную характеристику
--	---

	<p>одиночного электрического зонда, отметьте основные области</p> <p>4. Назовите преимущества решения Дрювенстейна для нахождения ФРЭЭ зондовым методом</p> <p>5. Схема двойного электрического зонда. Описание. Преимущества и недостатки</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*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: 70*

*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. Техника СВЧ. СВЧ диагностика плазмы**

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

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 17

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент получает вопросы, Ответы выполняются письменно с последующей проверкой

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: особенности микроволнового диапазона излучения, принцип действия основных ВЧ-приборов, применение микроволнового диапазона в диагностике плазмы</p>	<p>1. Клистронные усилители и генераторы. Конструкция, принцип действия, основные типы приборов</p> <p>2. Постановка экспериментов по измерению отражения и затухания СВЧ-волн</p> <p>3. СВЧ-интерферометр Уортона. Схема, принцип работы, преимущества</p> <p>4. Типы электромагнитных волн. Пробивная мощность и потери в волноводах</p> <p>5. СВЧ арматура. Направленные ответвители</p>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*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: 70*

*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-5. Защита лабораторных работ**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Перекрестный опрос

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты устно отвечают на вопросы

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: применять методы диагностики плазмы	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Как можно получить аппаратную функцию спектрального прибора?</li><li>2.Как выполнить абсолютную калибровку энергетических измерений в спектре?</li><li>3.Как отъюстировать трехлинзовый конденсор?</li><li>4.Как исключить переложение порядков в спектре?</li><li>5.Как измерить так называемый потенциал плазмы?</li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*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: 70*

*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

## 1 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Лазерная поляриметрия, принципы измерения угла поворота плоскости поляризации излучения, схемы экспериментов по диагностике плазмы.
2. Определение, основные виды, значение аппаратной функции спектрального прибора.
3. Определите полуширину на полувысоте профиля спектральной линии, обусловленного доплеровским расширением в водородной плазме. Температура ионов 1 кэВ, длина волны спектрального перехода 656 нм.

### Процедура проведения

1. Студент получает билет. 2. Готовиться к ответу в течение 1 часа, делая необходимые записи в листе ответа. 3. Отвечает на вопросы экзаменатору.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-2</sub> Знает основные методы диагностики высоко- и низкотемпературной плазмы

### Вопросы, задания

- 1.1. Методы бесконтактного измерения температуры электронов в плазме (интенсивности спектральных линий, СВЧ-радиометрия, томсоновское рассеяние).
2. Измерение полного электрического тока плазмы с помощью магнитных катушек (условия, режимы работы), пояса Роговского.
3. Рассчитайте предельное значение концентрации электронов в плазме, при которой будет происходить «отсечка» излучения с длиной волны 1 мм.
- 2.1. Методы диагностики плазмы, основанные на отражении и преломлении лазерного излучения.
2. Использование запрещенных оптических переходов в диагностике плазмы.
3. Определите ширину области свободной от наложений при наблюдении спектра в области длины волны 670 нм в третьем порядке дифракции на дифракционной решетке 1200 штр/мм.
- 3.1. Методы диагностики плазмы, основанные на рассеянии лазерного излучения (рэлеевское, томсоновское, комбинационное рассеяние, резонансная флуоресценция).
2. Особенности техники спектроскопии в области вакуумного ультрафиолета.
3. Рассчитайте теоретическое значение разрешающей способности эталона Фабри-Перо. Расстояние между пластинами 10 см, коэффициент отражения покрытий 96 %, изучаемая длина волны 700 нм.
- 4.1. Методы определения параметров плазмы по данным оптической спектроскопии (анализ интенсивностей линий, анализ непрерывного спектра).
2. Особенности диапазона сверхвысоких частот. Техника СВЧ.
3. Рассчитайте полное сечение коллективного рассеяния лазерного излучения в плазме. Данные: параметр Солпитера примите равным 1,3, средний заряд ионов 1, отношение  $T_e/T_i = 10$ .
- 5.1. Методы определения параметров плазмы по измерениям профилей спектральных линий.

2. Конструкция и основные характеристики эталона Фабри-Перо.
3. Рассчитайте значение параметра Солпитера при рассеянии лазерного излучения.  
Данные: длина волны лазерного излучения 488 нм, концентрация электронов в плазме  $3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , температура электронов 3 кэВ, угол рассеяния 0,3 рад. Сделайте вывод о характере взаимодействия излучения с плазмой.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какой элемент не является обязательной составляющей спектрального прибора?

Ответы:

- 1.) Входная щель,
- 2) Объектив,
- 3) Диспергирующий элемент,
- 4) Визир

Верный ответ: 4

2. Какой функцией описывается распределение частиц в плазме по скоростям в модели локального термодинамического равновесия?

Ответы:

- 1) функцией Лоренца,
- 2) функцией Гаусса,
- 3) функцией Больцмана,
- 4) функцией Максвелла

Верный ответ: 4

3. Какими параметрами плазмы преимущественно определяется Доплеровское уширение спектральных линий?

Ответы:

- 1) концентрацией ионов,
- 2) температурой ионов и макроскоростью,
- 3) концентрацией электронов,
- 4) напряженностью магнитного поля

Верный ответ: 2

4. Каким параметром плазмы преимущественно определяется уширение спектральных линий в следствие Штарк-эффекта?

Ответы:

- 1) концентрацией ионов,
- 2) температурой ионов,
- 3) концентрацией электронов,
- 4) напряженностью магнитного поля

Верный ответ: 1

5. Какой параметр плазмы можно оценить, пользуясь проводимостью плазмы?

Ответы:

- 1) концентрация ионов,
- 2) температура электронов,
- 3) концентрация электронов,
- 4) напряженность магнитного поля

Верный ответ: 2

6. Каким параметром плазмы преимущественно определяется набег фазы при прохождении электромагнитного излучения?

Ответы:

- 1) концентрацией ионов,
- 2) температурой ионов,
- 3) концентрацией электронов,
- 4) напряженностью магнитного поля

Верный ответ: 3

7. Какими параметрами плазмы преимущественно определяется поворот плоскости поляризации при прохождении электромагнитного излучения?

Ответы:

- 1) концентрацией ионов и степенью ионизации,
- 2) температурой ионов и давлением,
- 3) концентрацией и температурой электронов,
- 4) напряженностью магнитного поля и концентрацией электронов

Верный ответ: 4

8. Какое устройство наиболее удобно для измерения полного электрического тока плазмы?

Ответы:

- 1) электрический зонд,
- 2) магнитный зонд,
- 3) пояс Роговского,
- 4) поляриметр

Верный ответ: 3

9. В чем заключается преимущество датчиков давления плазмы, снабженных передающими стержнями?

Ответы:

- 1) малая постоянная времени,
- 2) меньшие наводки,
- 3) большая чувствительность,
- 4) меньшее возмущение плазмы

Верный ответ: 2

10. Назовите способ калибровки магнитных зондов

Ответы:

- 1) прямое измерение геометрических размеров катушки,
- 2) наблюдение выходного сигнала при помещении зонда в импульсное поле известной напряженности,
- 3) сравнение сигнала зонда с сигналом от катушки известных размеров,
- 4) все перечисленные способы

Верный ответ: 4

11. Назовите тип возмущений плазмы, вызываемый наличием магнитного зонда

Ответы:

- 1) Охлаждение плазмы,
- 2) Загрязнение плазмы,
- 3) Искажение зондом распределения токов в плазме,
- 4) Все перечисленные типы возмущений

Верный ответ: 4

12. Назовите основной компонент источника лазерного излучения

Ответы:

- 1) оптический резонатор,
- 2) источник накачки,
- 3) активная среда,
- 4) все перечисленные компоненты принципиально необходимы

Верный ответ: 4

13. На каком физическом явлении основано действие источника лазерного излучения?

Ответы:

- 1) спонтанное излучение атома,
- 2) вынужденное излучение атома,
- 3) поглощение фотона атомом,

4) ионизация атома

Верный ответ: 2

14. Назовите тип лазеров, применяемый в диагностике плазмы

Ответы:

1) твердотельный лазер,

2) лазер на красителях,

3) газовый лазер,

4) применяются все перечисленные типы

Верный ответ: 4

15. В какой квантовой системе возможно создание инверсной населенности уровней?

Ответы:

1) двухуровневая квантовая система,

2) трехуровневая квантовая система,

3) четырехуровневая квантовая система,

4) варианты 2 и 3 верные

Верный ответ: 4

16. Каким параметром определяется амплитуда колебаний при интерференции когерентных волн?

Ответы:

1) интенсивностью волн,

2) длиной волны,

3) типом поляризации,

4) разностью фаз

Верный ответ: 4

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*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: 70*

*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