

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/12-577

от 19.12.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЫ В ТЕХНОЛОГИИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 16.04.02 Высокотехнологические плазменные и  
энергетические установки

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1	3	108	16	32	0		24	0	Э
Итого	3	108	16	32	0	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе данной дисциплины излагаются основы нерелятивистской теории взаимодействия однородного и пространственно неоднородного электромагнитного излучения СВЧ и лазерного диапазонов длин волн с заряженными частицами слабоионизованной плазмы, основы теории высокочастотного квазипотенциала в неоднородных потоках сверхвысокочастотного излучения в слабых и сильных однородных постоянных магнитных полях, основы теории нагрева слабоионизованной плазмы СВЧ излучением, основы теории распространения и поглощения СВЧ и лазерного излучений в слабоионизованной плазме, основы теории резонансных и нерезонансных мультипакторных СВЧ разрядов в различных технологических установках, основы теории комплексной диэлектрической проницаемости и комплексной электропроводности плазмы в СВЧ-полях, основы применения слабоионизованной плазмы в экологии и технологии

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Ознакомить студентов с физическими основами и методами теории взаимодействия электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн (от сверхвысокочастотного, - с длинами волн 30-0.1 см, до лазерного, - с длинами волн от 10 до 0.1 мкм) со слабоионизованной плазмой, развить практические навыки применения теоретических знаний для решения задач экологии и технологии

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Содержание программы «Применение высокочастотной плазмы в технологии» представляет собой развитие полученных ранее знаний по следующим дисциплинам: курс общей физики, включающий основы термодинамики, оптику, электричество и магнетизм и др.; статистическая физика; математический анализ; дифференциальные уравнения; теория вероятности и математической статистики; квантовая механика; уравнения математической физики, физика низкотемпературной плазмы; вакуумная технология плазменных установок и др.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	---	---

		<b>стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	
научно-исследовательский			
Применение методов создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках	Методы создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках	ПК-2.2 [1] - Способен применять методы создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-2.2[1] - Знать основные методы создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках; У-ПК-2.2[1] - Уметь применять на практике методы создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках; В-ПК-2.2[1] - Владеть навыком применения методов создания и диагностики плазмы в установках термоядерного синтеза и плазменных технологических установках
Анализ научно-технической информации, постановка научной проблемы, обработка и обобщение полученных результатов	Научно-техническая информация по тематике исследований, результаты исследования	ПК-3 [1] - Способен анализировать научно-техническую информацию, научные проблемы, результаты, перспективы по тематике проводимых исследований и разработок  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-3[1] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения ; У-ПК-3[1] - Уметь: проводить поиск, анализ научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике

			<p>проводимых исследований и разработок; обобщать и критически анализировать полученную информацию; проводить критический анализ своих результатов и результатов других исследователей;</p> <p>В-ПК-3[1] - владеть навыками поиска и анализа научно-технической информации, выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок, обобщения и критического анализа информации.</p>
научно-инновационный			
<p>Использование методов плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материал</p>	<p>Методы плазменной обработки материалов</p>	<p>ПК-2.3 [1] - Способен применять методы плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материалы</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-2.3[1] - Знать основные методы плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материалы;</p> <p>У-ПК-2.3[1] - Уметь применять на практике методы плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материалы;</p> <p>В-ПК-2.3[1] - Владеть методами плазменной обработки материалов и анализа плазменного воздействия на материалы</p>
<p>Проектирование и внедрение новых продуктов и систем в реальной инженерной практике</p>	<p>Продукты и системы в реальной инженерной практике</p>	<p>ПК-7 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в</p>	<p>3-ПК-7[1] - Знать физические основы работы приборов и установок; методы проведения физических исследований с</p>

		<p>реальной инженерной практике</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>использованием высокотехнологических установок; ;</p> <p>У-ПК-7[1] - Уметь: применять законы физики и высшей математики для обработки и анализа полученных экспериментальных данных; продумать алгоритм решения инженерной задачи; спроектировать блок-схему лабораторной установки для реализации заданной инженерной задачи;;</p> <p>В-ПК-7[1] - Владеть: методами проведения инженерных расчетов; приемами и навыками работы с современными программными пакетами для инженерной деятельности;</p>
--	--	--	--

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-2.3, У-ПК-

							2.3, В- ПК- 2.3, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7
2	Раздел 2	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК- 2.2, У- ПК- 2.2, В- ПК- 2.2, 3-ПК- 2.3, У- ПК- 2.3, В- ПК- 2.3, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 2.2, У- ПК- 2.2, В- ПК-

							2.2, 3-ПК- 2.3, У- ПК- 2.3, В- ПК- 2.3, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	8	16	0
1 - 2	<b>Тема 1. Движение заряженных частиц в пространственно однородных СВЧ полях в отсутствие столкновений с атомами и молекулами фонового газа.</b> Движение заряженных частиц плазмы при медленном включении СВЧ поля. Формулы для осцилляторной скорости, амплитуды осцилляций и осцилляторной энергии заряженной частицы в потоке СВЧ излучения. Движение заряженных частиц плазмы в электромагнитных полях СВЧ диапазона при быстром включении и выключении СВЧ поля.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Тема 2. Мультипакторные СВЧ разряды на поверхности твердых материалов.</b>	Всего аудиторных часов		
		2	4	0

	Резонансные вторично-эмиссионные электронные СВЧ разряды (мультипакторные СВЧ-разряды), развивающиеся на поверхности твердых материалов. Нерезонансные виды тангенциального и нормального мультипакторного СВЧ-разрядов	Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Тема 3. Движение заряженных частиц плазмы в неоднородном электромагнитном потоке СВЧ излучения.</b> Механизмы и особенности формирования одномерного и трехмерного высокочастотных (ВЧ) квазипотенциалов в неоднородном поле СВЧ и лазерного излучений. Инвариант энергии медленного движения заряженных частиц слабоионизованной плазмы в неоднородном потоке СВЧ излучения.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Тема 4. Движение заряженных частиц плазмы в однородных и неоднородных СВЧ полях при наличии постоянного однородного магнитного поля.</b> Движение заряженных частиц плазмы в однородных СВЧ полях при наличии постоянного однородного магнитного поля. Движение заряженных частиц плазмы в неоднородном потоке СВЧ излучения при наличии постоянного однородного магнитного поля.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Раздел 2</b>	8	16	0
9 - 11	<b>Тема 5. Движение заряженных частиц плазмы в СВЧ поле при наличии столкновений электронов с атомами.</b> Вывод уравнения и анализ решения уравнения движения заряженных частиц в слабоионизованной плазме в СВЧ поле с учетом столкновений электронов с атомами. Изменение энергии заряженных частиц плазмы в потоке СВЧ излучения при наличии столкновений электронов с атомами и ионами.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 13	<b>Тема 6. Электропроводность и диэлектрическая проницаемость однородной плазмы в СВЧ полях.</b> Уравнение для плотности электрического тока в слабоионизованной плазме, возбуждаемого в потоке СВЧ излучения. Комплексная электропроводность и диэлектрическая проницаемость однородной плазмы в СВЧ полях	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 16	<b>Тема 7. Распространение и затухание СВЧ волн в плазме.</b> Решение волнового уравнения для описания распространения СВЧ волн в плазме. Изменение параметров СВЧ волны при распространении в плазме.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал



ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

в основном используются объяснительно иллюстративные технологии, также часть занятий может проводиться в виде консультации или "вопрос- ответ"

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2.2	З-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-2.3	З-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-16

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно

			усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 533 И 20 Динамика плазмы в сильных СВЧ-полях : Введение в курс, Москва: НИЯУ МИФИ, 2019
2. ЭИ С54 Практикум по курсу "Техника СВЧ" : учебное пособие для вузов, Н. П. Собенин, М. В. Лалаян, М. А. Гусарова, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
3. 621.039 М54 Методы генерации и диагностики плазмы : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, ред. : И. В. Визгалов, Москва: МИФИ, 2008
4. ЭИ М54 Методы генерации и диагностики плазмы : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, ред. : И. В. Визгалов, Москва: МИФИ, 2008
5. 533 О-75 Основы физических процессов в плазме и плазменных установках : учебное пособие для вузов, С. К. Жданов [и др.], Москва: МИФИ, 2007
6. 537 Р18 Физика газового разряда : , Ю. П. Райзер, Долгопрудный: Интеллект, 2009

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 533 Г49 Волны в магнитоактивной плазме : , Москва: Либроком, 2013
2. 537 С13 Физика высокочастотного емкостного разряда : , Москва: Физматлит, 2013
3. 620 Я89 Физика СВЧ вакуумно-плазменных нанотехнологий : , Р. К. Яфаров, Москва: Физматлит, 2009

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Microsoft office (33-103)
2. OSWindows 7 Pro
3. KasperskySecurity
4. Adobe acrobat

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. НИЯУ МИФИ (<http://www.library.mephi.ru/>)

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Персональный Компьютер (33-103)
2. Проектор EPSON (33-103)
3. Интерактивная доска SMARTBOARD SB680IV3 (33-103)

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Курс «Применение ВЧ плазмы в технологии » состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия, и практической части, на которой разбираются типичные примеры решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала. В семестре студент может получить максимум 100 баллов: 50 баллов за работу в семестре и 50 баллов на экзамене.

Текущий контроль проводится с помощью тестовых и творческих заданий.

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Курс «Применение ВЧ плазмы в технологии » состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия, и практической

части, на которой разбираются типичные примеры решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала.

### Методические указания по проведению лекций

Лекция представляет собой логическое изложение материала в соответствии с планом лекции, который сообщается студентам в начале каждой лекции, и имеет законченную форму, т. е. содержит пункты, позволяющие охватить весь материал, который требуется довести до студентов. Содержание каждой лекции имеет определенную направленность и учитывает уровень подготовки студентов. Ее цель – формирование ориентировочной основы для последующего усвоения студентами учебного материала. Главной задачей лектора является организация процесса познания студентами материала изучаемой дисциплины на всех этапах ее освоения, предусмотренных образовательным стандартом. Лекции по курсу призваны решать две основные задачи: во-первых, информативную, т.е. сообщать студенту определенный набор теоретических знаний об изучаемой области действительности, во-вторых, развивающую, т.е. способствовать выработке навыков самостоятельной познавательной деятельности, мышления и оценки на основе полученных знаний.

Для решения названных задач при подготовке лекции преподавателю необходимо:

- сформулировать цель и задачи каждой лекции;
- определить содержание лекции и план ее проведения так, чтобы это отвечало поставленным задачам лекции;
- разработать методы активизации познавательной деятельности студентов с учетом уровня знаний студентов;
- продумать возможности использования изучаемого материала в рамках других дисциплин и в практической деятельности;
- представить ссылки на источники для самостоятельного изучения материала студентами;
- по материалу лекции сформулировать задачи с целью подготовки студентов к семинарам.

Тематика и содержание лекции определяются рабочей программой изучаемой дисциплины, составленной в соответствии с образовательным стандартом направления специальности подготовки магистра.

Для передачи теоретического материала по дисциплине используются три основных типа лекций: вводная лекция, информационная лекция и обзорная лекция.

По своей структуре лекции могут быть разнообразны – это зависит от содержания и характера излагаемого материала. Однако существует общий структурный каркас, применимый к любой лекции. Прежде всего, это сообщение плана лекции студентам и строгое ему следование. В план лекции включаются наименования основных вопросов лекции, которые могут послужить базой для составления экзаменационных билетов и вопросов к зачету. В начале изложения полезно напомнить содержание предыдущей лекции, связать его с новым материалом, определить место и назначение рассматриваемой темы в дисциплине и в системе других наук.

При раскрытии вопросов темы можно применять индуктивный метод: примеры, факты, подводящие к научным выводам; можно также использовать метод дедукции: разъяснение общих положений с последующим показом возможности их приложения на конкретных примерах. По каждому из анализируемых положений следует делать вывод.

В конце лекции необходимо подвести итог сказанному.

Излагая лекционный материал, преподаватель должен ориентироваться на то, что студенты пишут конспект. Конспект помогает внимательно слушать, лучше запоминать в процессе осмысленного записывания, обеспечивает наличие опорных материалов при подготовке к семинару, зачету, экзамену. Задача лектора – дать студентам возможность осмысленного конспектирования: слушать, осмысливать, перерабатывать, кратко записывать. Средствами, помогающими конспектированию, являются: акцентированное изложение материала лекции, использование пауз, записи на доске, демонстрации иллюстративного материала, строгое соблюдение регламента занятий.

На каждую лекцию преподавателем разрабатывается план и конспект, включающие название темы, формулировку цели и задач, перечень основных разделов лекции, краткое, структурированное в соответствии с планом, содержание излагаемого материала, а также перечень вопросов, которые будут заданы по ходу лекции с целью активизации и повторения.

В ходе лекций по дисциплине «Применение ВЧ плазмы в технологии» предусматривается использование активных и интерактивных форм проведения занятий, в частности, применение мультимедийного проектора, а также интерактивных выступлений по принципу «вопрос – ответ», использование мела и доски, схем, таблиц и рисунков.

#### Методические указания по проведению практических занятий

Практические занятия посвящены разбору задач на занятиях по дисциплине «Применение ВЧ плазмы в технологии» и призваны углублять, расширять, детализировать знания, полученные на лекции в обобщенной форме, и содействовать выработке навыков профессиональной деятельности. Они развивают инженерное и научное мышление, позволяют проверить знания студентов, привить навыки поиска, обобщения и изложения учебного материала и выступают как средство оперативной обратной связи.

Рекомендуется регулярно проводить контроль знаний студентов

Автор(ы):

Иванов Вячеслав Алексеевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Рецензент(ы):

д.ф.-м.н., нач. лаборатории ИНХС РАН, Лебедев Ю.А.