

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОСНОВЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.03.05 Лазерная техника и лазерные  
технологии

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
8	3	108	12	20	0	49	0	Э
Итого	3	108	12	20	0	7	49	

## АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины «Основы физики плазмы» являются формирование у студентов знаний о физических основах процессов происходящих в плазме, принципах создания ионизованного состояния вещества. Изучается плазма в магнитном поле, газовые разряды различных типов, роль низкотемпературной плазмы в газовых лазерах. Рассматриваются вопросы связанные с созданием высокотемпературная плазмы в приложениях термоядерных установок. Изучаются лазерные методы диагностики параметров плазмы. Курс теоретически и практически развивает знания, полученные студентами в курсах кафедры: «Физическая оптика», «Квантовая радиофизика», «Атомная и молекулярная спектроскопия», в практикуме по физической оптике. Курс помогает в выполнении студентами практики физического эксперимента, производственной практики и дипломного проекта.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Основы физики плазмы» являются формирование у студентов знаний о физических основах процессов происходящих в плазме, принципах создания ионизованного состояния вещества. Изучается плазма в магнитном поле, газовые разряды различных типов, роль низкотемпературной плазмы в газовых лазерах. Рассматриваются вопросы связанные с созданием высокотемпературная плазмы в приложениях термоядерных установок. Изучаются лазерные методы диагностики параметров плазмы.

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

Содержание программы «Основы физики плазмы» представляет собой развитие полученных ранее знаний в области электродинамики, квантовой механики, статистической физики.

Курс « Основы физики плазмы » входит в число базовых при подготовке современных специалистов по лазерной физике.

Изучение дисциплины позволит студентам получить и развить навыки проведения экспериментальных исследований плазменных объектов различной природы, использовать различные физические явления при решении задач создания лазеров и изучении процессов взаимодействия мощного лазерного излучения с веществом.

### 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	Объект или	Код и наименование	Код и наименование
--------	------------	--------------------	--------------------

профессиональной деятельности (ЗПД)	область знания	профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательской			
<p>Анализ поставленной задачи исследований в области лазерной техники и лазерных технологий;- математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, разработка программ и их отдельных блоков, отладка и настройка для решения задач лазерной техники и лазерных технологий; проведение экспериментальных исследований взаимодействия лазерного излучения с веществом; проведение измерений по заданным методикам с выбором технических средств и обработкой результатов; составление описаний проводимых исследований и разрабатываемых проектов; осуществление наладки, настройки, юстировки и опытной проверки лазерных приборов и лазерных технологических систем;</p>	<p>процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; программное обеспечение и компьютерное моделирование в лазерной технике и лазерных технологиях.</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004, 40.011</p>	<p>З-ПК-2[1] - Знать основы электротехники и электроники, основы теории сигналов, основные физические методы измерений и исследований в области профессиональной деятельности.;</p> <p>У-ПК-2[1] - Уметь выбирать и использовать соответствующие ресурсы и оборудование для проведения исследований и измерений ;</p> <p>В-ПК-2[1] - Владеть методами и приемами исследований, а также навыками измерений по заданной методике в области профессиональной деятельности</p>
<p>Анализ поставленной задачи исследований в области лазерной</p>	<p>процессы взаимодействия лазерного</p>	<p>ПК-2.5 [1] - Способен к использованию знаний об электронных</p>	<p>З-ПК-2.5[1] - Знать: основы спектроскопии атомов</p>

<p>техники и лазерных технологий;- математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, разработка программ и их отдельных блоков, отладка и настройка для решения задач лазерной техники и лазерных технологий; проведение экспериментальных исследований взаимодействия лазерного излучения с веществом; проведение измерений по заданным методикам с выбором технических средств и обработкой результатов; составление описаний проводимых исследований и разрабатываемых проектов; осуществление наладки, настройки, юстировки и опытной проверки лазерных приборов и лазерных технологических систем;</p>	<p>излучения с веществом, включая биологические объекты; лазерные приборы, системы и технологии различного назначения; процессы генерации, усиления, модуляции, распространения и детектирования лазерного излучения; программное обеспечение и компьютерное моделирование в лазерной технике и лазерных технологиях.</p>	<p>структурах атомов и молекул; электронных, колебательных и вращательных возбуждениях в атомах и молекулах, процессах релаксации уровней и уширении спектральных линий, знаний об основах физики плазмы</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>и молекул, основы физики плазмы; У-ПК-2.5[1] - Уметь: классифицировать атомарные и молекулярные спектры излучения и поглощения; В-ПК-2.5[1] - Владеть: методами исследования атомарных и молекулярных спектров излучения и поглощения, навыками: самостоятельной постановки и решения задач, связанных с разработкой газовых лазеров, исследованием параметров плазмы лазерными методами</p>
<p>проектно-конструкторский</p>		<p>ПК-2.8 [1] - Способен проводить основные расчёты при проектировании лазерных установок, а также контролировать их соответствие исходным требованиям;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный</p>	<p>З-ПК-2.8[1] - Знать: принципы проектирования лазерных установок; У-ПК-2.8[1] - Уметь: проводить основные расчёты при проектировании лазерных установок;; В-ПК-2.8[1] - Владеть: методами расчёта лазерных</p>
<p>Анализ поставленной проектной задачи в области лазерной техники и лазерных технологий; участие в разработке функциональных и структурных схем на уровне узлов и элементов лазерных систем и технологий по заданным техническим</p>	<p>разработка лазерных приборов, систем и технологий различного назначения; элементная база лазерной техники, технологий, систем управления и транспорта лазерного</p>		

требованиям; расчет, проектирование и конструирование в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов лазерных систем и технологий на схемотехническом и элементном уровнях; разработка и составление отдельных видов технической документации на проекты, их элементы и сборочные единицы; участие в монтаже, сборке (юстировке), испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов лазерной техники и отработке элементов и этапов процессов лазерных технологий	излучения	стандарт: 29.002	установок при проектировании
---	-----------	------------------	------------------------------

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 5. 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>8 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-ПК-2, У-ПК-2,

							В-ПК-2, 3-ПК-2.5, У-ПК-2.5, В-ПК-2.5, 3-ПК-2.8, У-ПК-2.8, В-ПК-2.8
2	Раздел 2	9-11	4/4/0		25	КИ-11	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.5, У-ПК-2.5, В-ПК-2.5, 3-ПК-2.8, У-ПК-2.8, В-ПК-2.8
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		12/20/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.5, У-ПК-2.5,

							В-ПК-2.5, 3-ПК-2.8, У-ПК-2.8, В-ПК-2.8
--	--	--	--	--	--	--	---

\* – 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>8 Семестр</i>	12	20	0
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	8	16	0
1	<b>Общие понятия физики плазмы</b> Атомы, ионы, электроны. Процессы ионизации, рекомбинации, возбуждения.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Примеры и области параметров плазмы</b> Космическая плазма, солнечная корона, звезды. Газоразрядная плазма, плазма газовых лазеров, термоядерная плазма установок с магнитным удержанием и лазерного термоядерного синтеза.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Термодинамические свойства ионизированного газа и плазмы.</b> Сечение и скорости процессов ионизации, рекомбинации и возбуждения. Возбуждения молекулярных колебаний. Диссоциация молекул. Распределения частиц по скорости Максвелла, распределение Больцмана. Равновесная ионизация – распределение Саха и корональное распределение. Давление, энергия, энтропия плазмы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 5	<b>Электродинамические свойства плазмы</b> Взаимодействие электронов ионизированного газа с переменными электрическими полями. Плазменные колебания, дебаевский радиус. Комплексная диэлектрическая проницаемость плазмы. Распределение	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

	электромагнитных волн в плазме.			
6 - 7	<b>Транспортные процессы в плазме</b> Сечения рассеяния, пробеги частиц, времена релаксации. Дрейф электронов в постоянном поле. Теплопроводность, электропроводность, диффузия, вязкость в плазме. Торможение быстрых электронов и ионов в плазме. Амбиполярная диффузия.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Плазма в магнитном поле</b> Сила Лоренца, циклотронная частота. Ларковский радиус. Теплопроводность и электропроводность в магнитном поле. Эффект Холла.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-11</b>	<b>Раздел 2</b>	4	4	0
9	<b>Излучение плазмы</b> Типы радиационных переходов. Излучение в непрерывном спектре – тормозное и фоторекомбинационное. Излучение в спектральных линиях. Средний планковский и расселандов пробеги излучения в плазме. Объемное излучение. Лучистая теплопроводность. Плазма источников оптического излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9 - 10	<b>Явления пробоя газов</b> Образование и гибель заряженных частиц в газе, ионизация и рекомбинация, прилипание электронов к атомам и молекулам. Пробой и зажигание самостоятельного разряда в постоянном поле, в СВЧ – полях, оптический пробой. Электронная лавина, понятие о стримере. Молния.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Разряды разных типов.</b> Тлеющий разряд, дуговые разряды, искровой и коронный разряды. Неустойчивости однородного разряда, ионизационно – перегревная неустойчивость, контракция, страты. Разряды в мощных СО <sub>2</sub> – лазерах. Разряды в больших объемах, способы борьбы с неустойчивостями	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Высокотемпературная плазма</b> Термоядерные установки с магнитным удержанием. Инерциальный термоядерный синтез	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Лазерная диагностика плазмы</b> Интерферометрия плазмы. Измерение магнитного поля в плазме. Лазерная поляриметрия. Восстановление локальных параметров плазмы по данным интегральных измерений. Определение параметров плазмы по рассеянию лазерного излучения.	Всего аудиторных часов		
		1	1	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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины «Физика плазмы» используются различные образовательные технологии – во время аудиторных занятий занятия проводятся в форме лекций с использованием технических средств обучения - лекций с визуализацией.

Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к зачету.

Часть занятий проводится в интерактивной форме.

## 7. 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	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-11
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-11
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-11
ПК-2.5	З-ПК-2.5	Э, КИ-8, КИ-11
	У-ПК-2.5	Э, КИ-8, КИ-11
	В-ПК-2.5	Э, КИ-8, КИ-11
ПК-2.8	З-ПК-2.8	Э, КИ-8, КИ-11
	У-ПК-2.8	Э, КИ-8, КИ-11
	В-ПК-2.8	Э, КИ-8, КИ-11

## 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»	B	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		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	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»	F	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.

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

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Л 22 Оптика : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2021
3. 533 Ф83 Лекции по физике плазмы : , Д. А. Франк-Каменецкий, Долгопрудный: Интеллект, 2008
4. ЭИ В61 Лазерные методы диагностики плазмы : учебное пособие для вузов, Е. Д. Вовченко, А. П. Кузнецов, А. С. Савёлов, Москва: МИФИ, 2008
5. 537 Р18 Физика газового разряда : , Ю. П. Райзер, Долгопрудный: Интеллект, 2009

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

## LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач. Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы. Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не надо опасаться, что вопросы могут быть простыми. В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам. Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений. Следует работать с рекомендованными литературными источниками.

Для выполнения самостоятельной работы получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю. Подготовить письменный отчет о проделанной работе. При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

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

Первый раздел посвящен физическим основам физики плазмы. В этом разделе необходимо прежде всего ввести следующие понятия: сечение и скорости процессов ионизации, рекомбинации и возбуждения. Возбуждения молекулярных колебаний. Диссоциация молекул. Равновесная ионизация – распределение Саха и корональное распределение. Давление, энергия, энтропия плазмы. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями. Плазменные колебания, дебаевский радиус. Комплексная диэлектрическая проницаемость плазмы. Распределение электромагнитных волн в плазме. Типы радиационных переходов. Излучение в непрерывном спектре – тормозное и фоторекомбинационное. Излучение в спектральных линиях. Средний планковский и расселандов пробеги излучения в плазме. Объемное излучение. Лучистая теплопроводность. Плазма источников оптического излучения.

Во втором разделе изучаются свойства лабораторной плазмы. Тлеющий разряд, дуговые разряды, искровой и коронный разряды. Неустойчивости однородного разряда, ионизационно – перегревная неустойчивость, контракция, страты. Разряды в мощных СО<sub>2</sub> – лазерах. Разряды в больших объемах, способы борьбы с неустойчивостями. Термоядерные реакции, сечения скорости реакций. Основная физическая идея лазерного термоядерного синтеза. Энергетика ЛТС, критерий Лоусона. Термоядерные установки с магнитным удержанием. Инерциальный термоядерный синтез. Методики лазерной диагностики. Интерферометрия плазмы. Измерение магнитного поля в плазме. Лазерная поляриметрия. Восстановление локальных параметров плазмы по данным интегральных измерений. Определение параметров плазмы по рассеянию лазерного излучения.

Самостоятельная работа студентов необходима для выработки у них умения применения полученных теоретических знаний для решения практических задач, таких как умение выбрать оптимальный лазерный источник для решения конкретной задачи, расчет характеристик лазерного излучения для заданных параметров резонатора и активной среды, расчет параметров резонатора и активной среды исходя из потребности в определенных свойствах лазерного излучения.

Автор(ы):

Кузнецов Андрей Петрович, д.ф.-м.н., доцент