

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И ПЛАЗМЕННЫЕ УСТАНОВКИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 16.03.02 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
7	4	144	32	48	0	28	0	Э
Итого	4	144	32	48	0	0	28	0

## АННОТАЦИЯ

В курсе рассматриваются современные установки и экспериментальные методы, используемые в физике плазмы. Уделено внимание истории наблюдения плазмы до начала XX века. Также освещены основные современные проблемы физики плазмы. Дан обзор методов моделирования космической плазмы.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса - дать представление аудитории о ряде современных методов проведения комплексных экспериментальных исследований различных процессов и механизмов плазмообразования, экспериментальных методов исследования плазмы, дать представление о прикладном значении физики плазмы. Задача курса - сформировать целостное понимание современных проблем физики плазмы для дальнейшего изучения ее применения в различных технологических задачах, в том числе лазерного термоядерного синтеза.

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

Дисциплина базируется на курсах дисциплин «Физика: электричество и магнетизм», «Физика: волны и оптика», «Физика: физический практикум», «Теоретические основы электротехники», «Методы и техника лазерно-физического эксперимента», «Квантовая физика».

### 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 стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
расчетно-экспериментальный с элементами научно-исследовательского			
Использование основных законов физики, оптики, лазеров и плазмы для описания и оценок параметров и характеристик	Параметры и характеристики физических объектов.	ПК-1.1 [1] - Способен использовать основные законы физики, оптики, лазеров и плазмы для описания и оценок параметров и характеристик	З-ПК-1.1[1] - Знать: основные понятия и законы физики оптики, лазеров и плазмы, основные понятия, законы и модели, используемые

исследуемых физических объектов.		исследуемых физических объектов.  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	для описания, изучения и оценки параметров и характеристик исследуемых физических объектов ; У-ПК-1.1[1] - Уметь: применять основные законы физики оптики, лазеров и плазмы для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов ; В-ПК-1.1[1] - Владеть: методами получения и анализа экспериментальных данных на основе законов физики оптики, лазеров и плазмы, используемые для описания, изучения и оценки параметров и характеристик исследуемых физических объектов.
----------------------------------	--	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для

		<p>формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>
--	--	--

## 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>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	16/24/0		25	КИ-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1
2	Второй раздел	9-16	16/24/0		25	КИ-16	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/48/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	В-ПК-1.1, 3-ПК-

							1.1, У- ПК- 1.1
--	--	--	--	--	--	--	--------------------------

\* – 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

Неделя	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	48	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	16	24	0
1 - 2	<b>Наблюдение плазмы до начала XX века.</b> Плазменные установки вокруг человека в XXI веке. Система единиц, которая используется в физике плазмы. Справочник “NRL Plasma Formulary”. Генерация плазмы. Ионизированные газы и плазма. Квазинейтральность плазмы.	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Радиус Дебая. Параметры плазмы.</b> Радиус Дебая. Число частиц в дебаевской сфере, влияние этого параметра на свойства плазмы. Плавающий потенциал Ленгмюровского зонда. Плазменное приближение. Параметры плазмы в различных условиях. Классическая и вырожденная плазма. Идеальная и неидеальная плазма. Характерные параметры лабораторной и космической плазмы.	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Реакции термоядерного синтеза.</b> Идея магнитного удержания Сахарова и Тамма. Токамак. Структура магнитного поля. Стелларатор. Стелларатор Л-2М. Структура магнитного поля. Температура и плотность плазмы. Флуктуации.	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Движение заряженной частицы в постоянных и однородных электромагнитных полях.</b> Сохранение энергии. Однородное электростатическое поле. Однородное постоянное магнитное поле. Однородные электростатическое и магнитное поля. Дрейфовая скорость Дрейфовая скорость в гравитационном поле.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Движение заряженной частицы в поле.</b> Движение заряженной частицы в неоднородном и непостоянном магнитном поле. Движение в сильном	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		

	медленно меняющемся магнитном поле. Дрейфовое приближение. Градиентный дрейф Центробежный дрейф. Поведение плазмы в магнитном поле тороидального соленоида. Стелларатор.	0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	16	24	0
9 - 10	<b>Адиабатический инвариант.</b> Удержание заряженных частиц в открытых магнитных ловушках. Первый адиабатический инвариант ( $\mu$ ). Второй адиабатический инвариант ( $J$ ). Третий адиабатический инвариант ( $\Phi$ ). Открытые магнитные ловушки. Описание газодинамической ловушки (ГДЛ).	Всего аудиторных часов		
		4	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Процессы в плазме.</b> Элементарные процессы в плазме. Упругое рассеяние. Марковские/немарковские процессы. Неупругое рассеяние. Возбуждение и тушение. Ионизация (рекомбинация). Столкновения. Модели равновесия в плазме. Степень ионизации в состоянии равновесия и формула Саха. Корональное равновесие. Газовые лазеры.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Элементы кинетической теории плазмы.</b> Фазовое пространство. Функция распределения. Средняя скорость и концентрация частиц. Бесстолкновительное уравнение Больцмана. Релаксационное приближение для столкновительного члена. Уравнение Власова.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Излучение плазмы.</b> Тормозное, рекомбинационное. Линейчатый спектр. Использование NISTовских таблиц для расшифровки спектров. Отношение линий (определение температуры). Молекулярные спектры в низкотемпературной плазме. Плазмохимия. Циклотронное излучение. Диагностика ЭЦИ для определения профиля температуры электронов на стеллараторе Л-2М.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Магнитогидродинамическое описание плазмы.</b> Иерархия плазменных моделей. Гидродинамические модели. Вывод уравнения непрерывности методом гидродинамики. Модель проводящей жидкости. Идеальная проводимость и дрейфовое движение. Вмороженное поле. Диффузия магнитного поля. Двухжидкостная магнитогидродинамика.	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>Колебания и волны в плазме.</b> Магнитогидродинамические колебания. Продольные звуковые волны. Альфвеновские волны. Магнитозвуковые волны. Дисперсия волн в двухжидкостной гидродинамике Ионный звук. Движение заряженных частиц в высокочастотном поле. Высокочастотная проводимость плазмы. Эффективная электрическая проницаемость. Распространение электромагнитных волн в плазме при отсутствии магнитного поля. Влияние магнитного поля на распространение волн в плазме. Электронный и ионный циклотронный резонансы.	Всего аудиторных часов		
		4	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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины предусматривается использование в учебном процессе различных образовательных технологий с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. Аудиторные занятия предполагают применение на лекциях технических средств обучения (проектора-оверхеда, ПК и компьютерного проектора).

## 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-1.1	З-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.1	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»	А	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.

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

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. И В31 Basic space plasma physics : , New Jersey [and oth.]: World scientific, 2012
2. ЭИ С51 Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion : , Cham: Springer International Publishing, 2016
3. 533 О-75 Основы физических процессов в плазме и плазменных установках : учебное пособие для вузов, С. К. Жданов [и др.], Москва: МИФИ, 2007

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К92 Introduction to Plasma Spectroscopy : , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,, 2009
2. 533 Ч-65 Альтернативные системы термоядерного синтеза : , Москва: Книга и бизнес, 2012
3. ЭИ Ц27 Физическая электроника: физика плазмы Ч.1 , : МИФИ, 2008
4. ЭИ Ц27 Физическая электроника: физика плазмы Ч.2 , : МИФИ, 2008

## 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**

Студентам перед началом занятий надо учесть, что курс является авторским и полноценного учебника по нему не существует. Поэтому следует аккуратно посещать лекции, перед очередной лекцией прорабатывать предыдущий материал и не стесняться задавать вопросы преподавателю. Следует учесть, что изучаемый курс опирается на многие вопросы, изучаемые в курсах: «Атомная физика» и «Квантовая механика». Можно обращаться к соответствующим разделам этих курсов, конспектам и рекомендованной для них литературе.

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. 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. Студентам необходимо уделить особое внимание таким вопросам, как установки токамак и сталларатор. Следует работать с рекомендованными литературными источниками.

Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю. 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**

На первой лекции сделать общий обзор содержания курса. Дать перечень рекомендованной литературы и вновь появившихся литературных источников. Провести входной контроль знаний в форме устной беседы или опроса. Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов. Внимательно относиться к вопросам студентов и при необходимости давать дополнительные более подробные пояснения. При чтении лекций преимущественное внимание следует уделять качественным вопросам, формируя у студентов образное мышление, не следует увлекаться математическими выкладками. Активная форма проведения лекционных занятий

предполагает, в частности, что студенты самостоятельно прорабатывают отдельные разделы лекционного курса, на основе которых выполняется ряд заданий. На последней лекции делается обзор наиболее важных положений.

Следует учесть, что многие фундаментальные вопросы данного курса пересекаются с темами курсов «Физика лазерной плазмы» и «Введение в лазерный термоядерный синтез». Поэтому по данным вопросам не стоит углубляться в рассмотрение физических законов, а большее внимание уделить прикладному значению. Вопросы, связанные с космической плазмой следует рассмотреть особенно тщательно, дав качественную картину образования и поведения плазмы. Рекомендовано при прочтении данного курса сосредотачивать внимание и на таких вопросах, как установки токамак и стелларатор и их роль в термоядерном синтезе.

Автор(ы):

Скворцова Нина Николаевна, д.ф.-м.н., доцент