

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/12-577

от 19.12.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕХНИКА ТЕРМОЯДЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

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
2	3	108	7	38	0	27	0	Э
Итого	3	108	7	38	0	0	27	0

## АННОТАЦИЯ

Курс рассчитан на формирование у студентов целостного представления об основных свойствах плазмы и усвоение ее базовых понятий, а также представлений о технологии управляемого термоядерного синтеза

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Ознакомить студентов с необходимым объемом знаний в области физики приэлектродной плазмы применительно к задачам управляемого термоядерного синтеза, прямого преобразования тепловой энергии в электрическую и физики газоразрядных лазеров.

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

Предполагается знание общей физики, математического анализа, дифференциальных уравнений, математической физики в объеме стандартного университетского курса. Считается, что студенты прослушали курсы теоретической механики и теории поля (хотя владение аппаратом данных теоретических дисциплин для усвоения курса не требуется), владеют навыками использования векторных операций.

### 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
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	З-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

		стандарт: 40.011	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 проводимых исследований и разработок; обобщать и критически анализировать полученную информацию; проводить критический анализ своих результатов и результатов других

			исследователей; 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.
--	--	--	--

#### 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>2 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	4/20/0		25	к.р-8	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Раздел 2	9-15	3/18/0		25	к.р-15	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2,

							3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		7/38/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

\* – 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
к.р	Контрольная работа
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	7	38	0
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	4	20	0
1	<b>Методы измерений параметров плазмы.</b> Методы измерений параметров плазмы. Диагностика плазмы в токамаке. Цель измерений – получение информации о пространственно временной картине изменения плазменных параметров. Классификация методов диагностики.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Активная и пассивная диагностика плазмы.</b> Активная и пассивная диагностика плазмы. Обратные задачи математической физики. Абелизация, как частотный случай томографии. Томография.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Электротехнические методы измерений</b> Электротехнические методы измерений. Пояс Роговского.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0

	Измерение вихревого электрического поля	Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Магнитные зонды</b> Магнитные зонды. Измерение и контроль положения и формы плазменного шнура.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Устойчивость плазменного шнура</b> Омический нагрев. МГД устойчивость плазменного шнура. Критерий Крускала-Шафранова.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Время удержания энергии в плазменном шнуре.</b> Время удержания энергии в плазменном шнуре. Определение. Методы измерений.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Методы измерения внутренней энергии плазмы</b> Методы измерения внутренней энергии плазмы. Диаманитные измерения.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Результаты экспериментального определения времени удержания энергии в плазме</b> Результаты экспериментального определения времени удержания энергии в плазме на различных токамаках. Эмпирические формулы. Выбор параметров ИТЭРа.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Раздел 2</b>	3	18	0
9	<b>Радиационные потери</b> Радиационные потери. Болومتر. Методы определения эффективного заряда плазмы. Спектральный контроль примесей.	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Измерения плотности плазмы</b> Измерения плотности плазмы. Микроволновые и лазерные интерферометры. Рефлектометрия плазмы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Измерение электронной температуры плазмы</b> Измерение электронной температуры плазмы. Оценка электропроводности плазмы. Измерения по спектру рассеянного света (лазерное рассеяние).	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Измерение параметров плазмы по спектру излучения</b> Измерение параметров плазмы по спектру излучения мягкого рентгена и по интенсивности излучения на гармониках электронной циклотронной частоты.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Измерение температуры ионов</b> Измерение температуры ионов по энергетическому спектру атомов перезарядки и по спектру ионов примесей, излучаемому из-за перезарядки атомов водородного пучка на ядрах примесей (CHERS).	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Измерение распределения плотности тока по сечению шнура</b> Измерение распределения плотности тока по сечению шнура по положению резонансных поверхностей, соответствующих значениям $q$ , равных 1 и 2. Измерение распределения плотности тока по сечению	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	шнура по измерению поляризации штарковских компонент излучения атомов пучка в электрическом поле, возникающем из-за движения пучка под углом к магнитному полю (MSE).			
15	<b>Измерение электрических полей в плазме. Зондирование пучком тяжелых ионов</b> Измерение электрических полей в плазме. Зондирование пучком тяжелых ионов	Всего аудиторных часов		
		0	3	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

Объяснительно иллюстративные технологии, занятия в виде консультаций студентов

## 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, к.р-8, к.р-15
	У-ПК-2.2	Э, к.р-8, к.р-15
	В-ПК-2.2	Э, к.р-8, к.р-15
ПК-3	З-ПК-3	Э, к.р-8, к.р-15
	У-ПК-3	Э, к.р-8, к.р-15
	В-ПК-3	Э, к.р-8, к.р-15

## 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.

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

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А74 Magnetic Control of Tokamak Plasmas : , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. 533 М80 Введение в теорию горячей плазмы Ч.1 , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. 533 М80 Введение в теорию горячей плазмы Ч.2 , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
4. ЭИ Б 44 ТОКАМАК: начальная стадия разряда : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2014



5. 621.039 К43 Современные исследования на установках "Токамак" : учебное пособие для вузов, Н. А. Кирнева, Москва: МИФИ, 2008
6. ЭИ К43 Современные исследования на установках "Токамак" : учебное пособие для вузов, Н. А. Кирнева, Москва: МИФИ, 2008

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ С84 Основы техники термоядерного эксперимента : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
2. 621.039 С84 Основы техники термоядерного эксперимента : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
3. 621.039 И62 Инженерно-физические проблемы термоядерной энергетики : Сб. науч. тр. № 216, , М.: МЭИ, 1989
4. 533 О-75 Основы физики плазмы Т.1 Физика плазмы, , Москва: Энергоатомиздат, 1983
5. 533 О-75 Основы физики плазмы Т.2 Физика плазмы, , Москва: Энергоатомиздат, 1984
6. 533 К13 Коллективные явления в плазме : , Б.Б. Кадомцев, М.: Наука, 1988
7. 533 К13 Коллективные явления в плазме : , Б.Б. Кадомцев, М.: Наука, 1976
8. 53 Р79 Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции : , Д.Дж. Роуз; Пер.с англ., М.: Госатомиздат, 1963
9. 533 К89 Методы диагностики высокотемпературной плазмы : , Кузнецов Э.И.,Щеглов Д.А., М.: Атомиздат, 1980
10. 539.3/9 А88 Управляемые термоядерные реакции : , Л. А. Арцимович, М.: Физматгиз, 1961
11. 533 У67 Управляемый термоядерный синтез : , Пер. с англ., М.: Мир, 1980
12. 533 Л84 Горячая плазма и управляемый ядерный синтез : Учебник для вузов, С. Ю. Лукьянов, Н. Г. Ковальский, М.: МИФИ, 1999

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### 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**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

Курс «Техника термоядерного эксперимента» состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия, и практической 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.

Работа в семестре представляет собой выполнение контрольных работ на решение задач, разбираемых на занятиях. В конце семестра студенты сдают экзамен.

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе.

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

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Курс «Техника термоядерного эксперимента» представляет собой теоретически и практических курс. Преподаватель на занятиях дает основные понятия и определения по теме занятия и разбирает типичные задачи для закрепления 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.

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 экзамену. 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 «Техника термоядерного эксперимента» 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

Решение задач призвано углублять, расширять, детализировать знания, полученные на лекции в обобщенной форме, и содействовать выработке навыков профессиональной деятельности. Задачи развивают инженерное и научное мышление, позволяют проверить знания студентов, привить навыки поиска, обобщения и изложения учебного материала и выступают как средство оперативной обратной связи.

Преподавателю следует аккуратно вести контроль уровня понимания и развития навыков решения задач. Необходимо на каждом занятии проверять домашние задания, частично повторять пройденный уже материал, давая также тестовые задачи уже пройденного материала.

Работа в семестре представляет собой выполнение контрольных работ на решение задач, разбираемых на занятиях.

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе.

Автор(ы):

Мельников Александр Владимирович, д.ф.-м.н.

Рецензент(ы):

профессор, д-р физ.-мат. наук Кутеев Б.В.