

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕРМОЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

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	23	0		42	0	Э
Итого	3	108	7	23	0	0	42	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе рассматриваются основные задачи современных экспериментов на установках «Токамак». Особое внимание уделено задачам, решение которых необходимо для подготовки экспериментов на международном экспериментальном термоядерном реакторе-токамаке ИТЭР.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Физические процессы в термоядерном реакторе» являются:

- Научить студентов понимать физику явлений, происходящих в высокотемпературной плазме токамака, постановку задачи современного эксперимента на установках токамак;
- Ознакомит студентов с современным состоянием исследований в данной области и методами решения экспериментальных задач;
- Облегчить изучение специальной литературы, дать необходимые сведения для исследовательской работы.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс «Физические процессы в термоядерном реакторе» является одним из специальных семестровых курсов, читаемых на кафедре «Физика плазмы» для студентов, специализирующихся в физике высокотемпературной плазмы и УТС.

Для успешного освоения курса «Физические процессы в термоядерном реакторе» студенты должны предварительно прослушать курсы лекций 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 высокотемпературной плазмы

Лекционный курс «Физические процессы в термоядерном реакторе» необходим студентами для выполнения:

- учебно-исследовательских работ по тематике «Физика горячей плазмы и УТС»;
- практических работ в рамках курса «Моделирование плазмы токамака с помощью кода АСТРА»,
- подготовки и выполнения дипломной работы.

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 стандарт: 40.011	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 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	З-ПК-3[1] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы,

		стандарт: 24.078	<p>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.</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>2 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	4/12/0		25	КИ-8	З-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Раздел 2	9-15	3/11/0		25	КИ-15	З-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		<i>7/23/0</i>		<i>50</i>		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	З-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, З-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
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	7	23	0
1-8	Раздел 1	4	12	0
1	Введение. Основные задачи современных исследований на установках "Токамак" Введение. Основные задачи современных исследований на установках "Токамак", направленные на создание термоядерного реактора. Принципиальная схема установки "Токамак". Сценарий плазменного разряда. Омический режим: основные особенности и характеристики. Область рабочих параметров современных токамаков.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Перенос энергии и частиц Перенос энергии и частиц. Неоклассический транспорт, коэффициенты переноса. Бутстреп-ток. Современные проблемы неоклассической теории. Турбулентный транспорт. Перенос частиц. Влияние неоклассического и турбулентного переносов на формирование профиля плотности. Перенос трития. Перенос примесей. Управление профилем плотности основной плазмы и примесей.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Электронный тепловой транспорт. Методы исследования Электронный тепловой транспорт. Методы исследования. Результаты исследований. Ионный тепловой транспорт. Вращение плазмы. Тороидальное вращение. Перенос тороидального момента. Полоидальное вращение плазмы. Спонтанная генерация полоидального вращения. Результаты анализа безразмерных параметров: нерешенные вопросы	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

4	<p>Режимы удержания плазмы в экспериментах с дополнительным нагревом</p> <p>Режимы удержания плазмы в экспериментах с дополнительным нагревом. L-мода: определение, основные особенности и характеристики.</p> <p>Режим улучшенного удержания с внешним транспортным барьером - H-мода. Основные особенности режимов с H-модой. Механизм L-H перехода. Время удержания плазмы. ELM - граничные локализованные моды. Классификация ELM. Роль ELMs. Теория ELMs. Управление ELMs.</p> <p>H-мода в токамаке-реакторе: нерешенные задачи.</p> <p>Режим удержания с формированием излучающего слоя на периферии плазмы - RI-мода.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<p>Режим улучшенного удержания с внешним транспортным барьером</p> <p>Режим улучшенного удержания с внешним транспортным барьером (ВТБ). Определение, используемая терминология и классификация внутренних транспортных барьеров.</p> <p>Механизм формирования ВТБ. Роль ширины скорости ExB.</p> <p>Роль профиля тока: магнитный шир, рациональные значения q. Роль шафрановского смещения.</p> <p>Управление ВТБ в реальном времени. ВТБ в условиях, удовлетворяющих требованиям реактора. Взаимодействие внешнего и внутреннего транспортного барьеров.</p> <p>Внутренние транспортные барьеры: нерешенные вопросы.</p> <p>Гибридные режимы.</p>	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<p>Работа вблизи предельных параметров</p> <p>Работа вблизи предельных параметров.</p> <p>Предел по плотности. Механизм срыва по предельной плотности. Радиационный коллапс. Появление MARFE.</p> <p>Отрыв дивертора. H-L переход, изменение характеристик H-моды. Зависимость предельной плотности от мощности нагрева и эффективного заряда плазмы.</p> <p>Зависимость предельной плотности от распределения тока плазмы. Зависимость предельной плотности от профиля плотности плазмы. Зависимость предельной плотности от положения плазменного шнура.</p> <p>Удержание плазмы при плотности, близкой к предельной.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<p>Предел по давлению плазмы</p> <p>Предел по давлению плазмы. Резистивная мода, стабилизируемая стенкой (RWM). Механизм развития неустойчивости. Возможности стабилизации.</p> <p>Экспериментальные результаты.</p> <p>Неоклассические тиринг-моды. Основные особенности, механизм дестабилизации. Возможности контроля.</p> <p>Эксперименты по подавлению НТМ.</p>	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

8	Методы дополнительного нагрева плазмы Методы дополнительного нагрева плазмы. Нагрев и генерация тока с помощью электронно-циклотронных волн. Основные закономерности и особенности использования электронно-циклотронных волн. Эффективность генерации ЭЦ-тока. Определение величины генерируемого тока. Роль запертых частиц в снижении эффективности генерации тока. Достоинства и недостатки метода генерации тока с помощью ЭЦ-волн. Применение электронно-циклотронного нагрева/генерации тока. Нагрев и генерация тока с помощью нижнегибридных волн. Основные закономерности и особенности использования нижнегибридных волн. Использование нижнегибридных волн в современных экспериментах.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Раздел 2	3	11	0
9	Методы дополнительного нагрева плазмы Методы дополнительного нагрева плазмы. Ионный циклотронный нагрев. Механизм распространения волн в плазме. Области применения ИЦРН: нагрев ионов, нагрев электронов, генерация тока быстрыми волнами, нагрев на циклотронных гармониках, конверсия мод. Инжекция нейтральных атомов. Механизм взаимодействия пучка нейтральных атомов с плазмой. Механизм генерации тока. Применение инжекционного нагрева и генерации тока.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Процессы в периферийной плазме Процессы в периферийной плазме. Управление потоками энергии и частиц. Особенности переноса в SOL. Устройство и режимы работы дивертора. Выбор материала первой стенки и дивертора. Удаление гелиевой золы.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Сферические токамаки Сферические токамаки. Особенности, преимущества концепции. Операционные пределы. Основные задачи. Достигнутые результаты.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 16	Моделирование плазмы Моделирование плазмы. Задачи. Транспортные коды. Интерпретационное и предсказательное моделирование. Коды МГД-устойчивости. Расчеты турбулентности: giroкинетические и giroжидкостные коды. Интегрированное моделирование. Основные проблемы и нерешенные вопросы. Базы данных для моделирования.	Всего аудиторных часов		
		2	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

Лекционный курс предусматривает демонстрационный материал по каждой теме занятий, который представляется в виде слайдов. Задача лектора доступно объяснить на основе прочитанного лекционного материала, основные направления исследований, применяемые метод, используемые физические особенности изучаемого объекта

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-15
	У-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-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. 533 И45 Классические задачи физики горячей плазмы : курс лекций, Москва: Издательский дом МЭИ, 2015
2. ЭИ Л 12 Лабораторный практикум "Материаловедение термоядерных реакторов" : учебно-методическое пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2019
3. 621.039 К43 Сборник задач по курсу "Физические процессы в термоядерном реакторе" : учебное пособие, Н. А. Кирнева, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
4. 621.039 К43 Современные исследования на установках "Токамак" : учебное пособие для вузов, Н. А. Кирнева, Москва: МИФИ, 2008
5. ЭИ К43 Современные исследования на установках "Токамак" : учебное пособие для вузов, Н. А. Кирнева, Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Г60 Высокочастотные методы нагрева плазмы в тороидальных термоядерных установках : , Голант В.Е., Федоров В.И., М.: Энергоатомиздат, 1986
2. 533 М71 Основы физики плазмы и управляемого синтеза : , К. Миямото, Москва: Физматлит, 2007
3. 621.039 М63 Физические процессы в плазме токамака : , Мирнов С.В., М.: Энергоатомиздат, 1983
4. 533 Д54 Математическое моделирование плазмы : , Ю.Н. Днестровский, Д.П. Костомаров, М.: Физ.-мат.лит.;Наука, 1993

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 «Физические процессы в термоядерном реакторе» состоит из теоретической и практической частей, на которых преподаватель основные понятия и определения по теме занятия и разбирает типичные задачи для закрепления материала, соответственно. Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Физические процессы в термоядерном реакторе» является экзамен. В семестре студент может получить максимум 100 баллов: 50 баллов за работу в семестре и 50 баллов на экзамене. Работа в семестре оценивается посредством контроля выполнения тестовых заданий.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Курс «Физические процессы в термоядерном реакторе» состоит из теоретической и практической частей, на которых преподаватель основные понятия и определения по теме занятия и разбирает типичные задачи для закрепления материала, соответственно.

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 бакалавра.

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 «Физические процессы в термоядерном реакторе» 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 по дисциплине «Физические процессы в термоядерном реакторе» 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.

Автор(ы):

Кирнева Наталья Александровна, к.ф.-м.н.

Рецензент(ы):

Д.ф.-м.н., проф., Мельников А.В.