

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
КИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЫ

Направление подготовки [1] 16.04.02 Высокотехнологические плазменные и
(специальность) энергетические установки

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	4-5	144-180	16	32	0		60-96	0	Э
Итого	4-5	144-180	16	32	0	0	60-96	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 по общей физике.

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
Создание теоретических и математических моделей, описывающих основные процессы в плазме и плазменных установках	Теоретические и математические модели, описывающие основные процессы в плазме и плазменных установках	ПК-3.1 [1] - Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих основные процессы в плазме и плазменных установках, под конкретную научно-исследовательскую	З-ПК-3.1[1] - Знать основы теоретических и математических моделей, описывающих основные процессы в плазме и плазменных установках; У-ПК-3.1[1] - Уметь создавать теоретические и математические модели, описывающие

		<p>задачу</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	основные процессы в плазме и плазменных установках; В-ПК-3.1[1] - Владеть навыком создания теоретических и математических моделей, описывающих основные процессы в плазме и плазменных установках
Обработка и обобщение результатов исследований математическими методами	Результаты исследований, математические методы обработки экспериментальных данных	<p>ПК-2 [1] - Способен использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 25.033</p>	<p>З-ПК-2[1] - Знать основные законы высшей математики, необходимые для математической обработки результатов исследований;</p> <p>основные законы теоретической физики, необходимые для обобщения и интерпретации результатов исследований; ;</p> <p>У-ПК-2[1] - Уметь: применять законы высшей математики и физики к обобщению и интерпретации исследований;</p> <p>проводить критический анализ результатов;;</p> <p>В-ПК-2[1] - Владеть: методами создания и анализа математических моделей; методами обработки экспериментальных данных</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/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции

	<i>3 Семестр</i>					
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8 З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1
2	Второй раздел	9-16	8/16/0		25	КИ-16 З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50	
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1

* – 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

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
1-8	Первый раздел	8	16	0
1 - 2	Наблюдение плазмы до начала XX века. 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 2	4	0
3 - 4	Радиус Дебая. Параметры плазмы. 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 0	0	0

5 - 6	Реакции термоядерного синтеза. 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		
		2	4	0
7	Движение заряженной частицы в постоянных и однородных электромагнитных полях. Сохранение энергии. Однородное электростатическое поле. Однородное постоянное магнитное поле. Однородные электростатическое и магнитное поля. Дрейфовая скорость Дрейфовая скорость в гравитационном поле.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
8	Движение заряженной частицы в поле. Движение заряженной частицы в неоднородном и непостоянном магнитном поле. Движение в сильном медленно меняющемся магнитном поле. Дрейфовое приближение. Градиентный дрейф Центробежный дрейф. Поведение плазмы в магнитном поле тороидального соленоида. Стелларатор.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
9-16	Второй раздел	Онлайн		
		0	0	0
9 - 10	Адиабатический инвариант. Удержание заряженных частиц в открытых магнитных ловушках. Первый адиабатический инвариант (μ). Второй адиабатический инвариант (J). Третий адиабатический инвариант (Φ). Открытые магнитные ловушки. Описание газодинамической ловушки (ГДЛ).	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
11	Процессы в плазме. 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.	Онлайн		
		0	0	0
12	Элементы кинетической теории плазмы. Фазовое пространство. Функция распределения. Средняя скорость и концентрация частиц. Бесстолкновительное уравнение Больцмана. Релаксационное приближение для столкновительного члена. Уравнение Власова.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
13	Излучение плазмы. 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.	Онлайн		
		0	0	0
14	Магнитогидродинамическое описание плазмы. Иерархия плазменных моделей. Гидродинамические модели. Вывод уравнения непрерывности методом гидродинамики. Модель проводящей жидкости. Идеальная проводимость и дрейфовое движение. Вмороженное поле. Диффузия магнитного поля. Двухжидкостная	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	магнитогидродинамика.			
15 - 16	Колебания и волны в плазме. Магнитогидродинамические колебания. Продольные звуковые волны. Альфеновские 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 2 4 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

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).

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	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-3.1	З-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3.1	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»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко иочно 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 твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69		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	3 – «удовлетворительно»		
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. И В31 Basic space plasma physics : , Baumjohann W., Treumann R.A., New Jersey [and oth.]: World scientific, 2012

2. ЭИ C51 Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion : , Chen, Francis. , Cham: Springer International Publishing, 2016

3. 533 О-75 Основы физических процессов в плазме и плазменных установках : учебное пособие для вузов, Жданов С.К. [и др.], Москва: МИФИ, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ K92 Introduction to Plasma Spectroscopy : , Kunze, Hans-Joachim. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,, 2009

2. 533 Ч-65 Альтернативные системы термоядерного синтеза : , Чирков А.Ю., Москва: Книга и бизнес, 2012

3. ЭИ Ц27 Физическая электроника: физика плазмы Ч.1 , Цветков И.В., : МИФИ, 2008

4. ЭИ Ц27 Физическая электроника: физика плазмы Ч.2 , Цветков И.В., : МИФИ, 2008

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<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

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 стелларатор. 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.

10. 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