

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 ПЛАЗМЫ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ТЕОРИЯ 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.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	5	180	15	30	0	81	0	0	Э
Итого	5	180	15	30	0	81	0	0	

## АННОТАЦИЯ

Курс является базовым для выпускников кафедры физики плазмы, специализирующимся в физике магнитного удержания и управляемого термоядерного синтеза. В процессе освоения курса студенты знакомятся с основными подходами к описанию процессов, протекающих в замагниченной плазме: дрейфовым приближением, магнитной гидродинамикой, кинетическим уравнением, неоклассической теорией переноса, теорией распространения электромагнитных волн в плазме, основами теории излучающей плазмы.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Основной целью курса является ознакомление студентов с основными теоретическими методами исследования высокотемпературной плазмы и наиболее важными ее свойствами, подготовка к чтению современной научной литературы. Рассматриваются общие подходы к проблеме. Студенты должны освоить основные методы теории плазмы, включая описание движения отдельных частиц в электрических и магнитных полях, магнитную гидродинамику и кинетику, представлять себе приближенные методы теории, в частности, теорию возмущений.

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

Курс «Теория плазмы» является одним из основных годовых курсов, читаемых на кафедре «Физика плазмы». Для успешного освоения теоретического курса «Теория плазмы» студенты должны предварительно прослушать курсы лекций по следующим дисциплинам:

- Курс общей физики, включающий механику, оптику, электричество и магнетизм и др.;
- Математический анализ;
- Дифференциальные уравнения;
- Векторный и тензорный анализ;
- Механика;
- Теория поля;
- Квантовая механика;
- Уравнения математической физики

Курс «Теория плазмы» необходим студентами для выполнения:

- учебно-исследовательских работ по термоядерным исследованиям,
- чтения научной литературы по физике плазмы,
- расчетов, необходимых для анализа и планирования экспериментов

### 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:

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
<b>научно-исследовательский</b>			
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 задачу  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-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 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	ПК-2 [1] - Способен использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 25.033	3-ПК-2[1] - Знать основные законы высшей математики, необходимые для математической обработки результатов исследований; основные законы теоретической физики, необходимые для обобщения и интерпретации результатов исследований; ; У-ПК-2[1] - Уметь: применять законы высшей математики и физики к обобщению и интерпретации исследований;

			проводить критический анализ результатов;; В-ПК-2[1] - Владеть: методами создания и анализа математических моделей; методами обработки экспериментальных данных
--	--	--	--

#### 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>2 Семестр</i>						
1	Движение заряженных частиц в электромагнитных полях. Магнитная конфигурация термоядерных установок	1-8	8/16/0		25	T-8	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1
2	Магнитно гидродинамическое описание плазмы. Кинетика плазмы	9-15	7/14/0		25	к.р-15	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/30/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				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
Т	Тестирование
к.р	Контрольная работа

Э	Экзамен
---	---------

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	30	0
<b>1-8</b>	<b>Движение заряженных частиц в электромагнитных полях. Магнитная конфигурация термоядерных установок</b>	8	16	0
<b>1 - 2</b>	<b>Движение заряженных частиц в электромагнитных полях</b> Описание движения релятивистской частицы в электромагнитном поле. Лагранжев и Гамильтонов формализмы. Интегралы движения в симметричных системах. Движение частицы в аксиально симметричном поле, задача Штермера.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	4 0	0
<b>3 - 4</b>	<b>Движение заряженных частиц в электромагнитных полях</b> Приближенные методы расчета траекторий движения частицы в электромагнитных полях. Адиабатические инварианты. Дрейфовое приближение, пять видов дрейфов. Условия применимости дрейфовой теории.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	4 0	0
<b>5 - 6</b>	<b>Магнитная конфигурация термоядерных установок</b> Описание квазистационарного магнитного поля. Магнитные поля в ловушках. Гамильтонова форма уравнений силовых линий магнитного поля. Магнитные поверхности, коэффициент запаса устойчивости, шир. Устойчивость магнитных поверхностей, стохастизация магнитного поля.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	4 0	0
<b>7 - 8</b>	<b>Магнитная конфигурация термоядерных установок</b> Траектории частиц в токамаке. Запертые и пролетные частицы. Бутстреп-ток.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	4 0	0
<b>9-15</b>	<b>Магнитно гидродинамическое описание плазмы. Кинетика плазмы</b>	7	14	0
<b>9 - 10</b>	<b>Кинетика плазмы</b> Плазма как сплошная среда. Дебаевский радиус. Кинетическое уравнение. Модельное представление интеграла столкновений. Кулоновские столкновения в плазме, интеграл столкновений в форме Ландау. Убегающие электроны.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	4 0	0
<b>11 - 12</b>	<b>Кинетика плазмы</b> Ленгмюровские волны. Тензор диэлектрической проницаемости максвелловской плазмы. Распространение электромагнитных волн в плазме. Затухание Ландау. Учет ионов, ионный звук. Квазилинейная теория затухания Ландау.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	4 0	0
<b>13 - 14</b>	<b>Магнитная гидродинамика</b> Метод моментов, вывод уравнений магнитной	Всего аудиторных часов 2	4	0

	гидродинамики. Правая часть уравнения непрерывности, ионизация, рекомбинация и перезарядка. Одножидкостная МГД. Теорема вмороженности. Магнитное давление.	Онлайн	0	0	0
15	<b>Магнитная гидродинамика</b> МГД волны в замагниченной плазме. Альфеновская волна, магнитозвуковые волны. Общие сведения о законах дисперсии волн. Тангенциальные и вращательные разрывы. Ударные волны. Волны на мелкой воде. Солитоны.	Всего аудиторных часов	1	2	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

используются объяснительно-иллюстративные технологии обучения и традиционная форма обучения.

## 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, Т-8, к.р-15
	У-ПК-2	Э, Т-8, к.р-15
	В-ПК-2	Э, Т-8, к.р-15
ПК-3.1	З-ПК-3.1	Э, Т-8, к.р-15
	У-ПК-3.1	Э, Т-8, к.р-15
	В-ПК-3.1	Э, Т-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			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»	E	
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 C51 Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion : , Chen, Francis. , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ K72 Nonlinear Physics of Plasmas : , Skoric, Milos. , Kono, Mitsuo. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010
3. 533 М80 Введение в теорию горячей плазмы Ч.1 , Морозов Д.Х., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
4. ЭИ М80 Введение в теорию горячей плазмы Ч.2 , Морозов Д.Х., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

5. ЭИ И32 Избранные вопросы физики плазмы и её применения Вып.1, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2017
6. 533 И45 Классические задачи физики горячей плазмы : курс лекций, Ильгисонис В.И., Москва: Издательский дом МЭИ, 2015
7. 533 Ф83 Лекции по физике плазмы : , Франк-Каменецкий Д.А., Долгопрудный: Интеллект, 2008
8. 533 Ч-88 Лекции по явлениям переноса в плазме : Учебное пособие, Чукбар К.В., Долгопрудный: Интеллект, 2008
9. ЭИ Р 62 Теория плазмы : , Рожанский В. А., Санкт-Петербург: Лань, 2022
10. ЭИ П 84 Физика и диагностика плазменных процессов : учеб. пособие, Прохорович Д.Е., Москва: Буки Веди, 2019

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Z81 Plasma Physics and Controlled Thermonuclear Reactions Driven Fusion Energy : , Zohuri, Bahman. , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ M76 Plasma Physics for Controlled Fusion : , Miyamoto, Kenro. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
3. 533 К49 Кинетическая теория неидеального газа и неидеальной плазмы : , Климонтович Ю.Л., М.: Наука, 1975
4. 533 К13 Коллективные явления в плазме : , Кадомцев Б.Б., М.: Наука, 1988
5. 533 О-75 Основы физических процессов в плазме и плазменных установках : учебное пособие для вузов, Жданов С.К. [и др.], Москва: МИФИ, 2007
6. 536 И83 Физика макросистем : Основные законы, Иродов И.Е., М.;СПб: Физматлит и др., 2001

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Microsoft office (33-103)
2. OSWindows 7 Pro
3. KasperskySecurity
4. Adobe acrobat

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. НИЯУ МИФИ (<http://www.library.mephi.ru/>)
2. <https://online.mephi.ru/>

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

1. Персональный Компьютер (33-103)
2. Проектор EPSON (33-103)
3. Интерактивная доска SMARTBOARD SB680IV3 (33-103)

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

Курс «Теория плазмы» состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия, разбираются типичные примеры решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала.

В качестве текущего контроля студенты на 8й неделе решают тест и на 15 неделе выполняют контрольную работу. В конце семестра студенты сдают экзамен. На экзамене студентам предлагается ответить в устной и письменной форме на 2 вопроса из списка вопросов к экзамену. В зависимости от полноты ответа на вопросы, преподаватель вправе задать несколько уточняющих вопросов и 2 дополнительных вопроса из списка вопросов для подготовки к экзамену.

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля

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

Курс «Теория плазмы» представляет собой теоретически 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 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 магистра.

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 «Теория плазмы» 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.

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.

Автор(ы):

Маренков Евгений Дмитриевич