

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 МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВЫ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 16.03.01 Техническая физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
6	1	36	15	15	0		6	0	3
Итого	1	36	15	15	0	0	6	0	

АННОТАЦИЯ

Курс знакомит студентов с основными положениями физики плазмы, методами расчета состояния плазмы и тлеющего газового разряда в свете дальнейшего изучения ими плазменных методов разделения изотопов, электроразрядных лазеров, масс-спектрометрии и т.д.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс введен для ознакомления студентов с основными положениями физики плазмы, методов расчета состояния плазмы и тлеющего газового разряда в свете дальнейшего изучения ими плазменных методов разделения изотопов, электроразрядных лазеров, масс-спектрометрии и т.д.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

В учебном курсе изучаются основные теоретические положения физики плазмы, рассматриваются результаты плазменных исследований. Значительная часть курса посвящена изучению тлеющего газового разряда.

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
производственно-технологический			
Использование нормативных документов по качеству, стандартизации и сертификации изделий, элементов экономического анализа в практической деятельности.	Наноразмерные системы, атомно-молекулярные смеси, масс-спектрометрия и спектрометрия ионной подвижности, композиционные материалы.	ПК-3 [1] - Способен использовать технические средства для определения основных параметров технологического процесса, изучения свойств физико-технических объектов, изделий и материалов	З-ПК-3[1] - Знать технические средства для определения основных параметров технологического процесса, свойств физико-технических объектов, изделий и материалов ; У-ПК-3[1] - Уметь использовать

		<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, 40.136, 40.167</p>	<p>технические средства для определения параметров технологического процесса, свойств физико-технических объектов, изделий и материалов ; В-ПК-3[1] - Владеть техническими средствами определения параметров технологического процесса, изучения свойств физико-технических объектов, изделий и материалов</p>
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)

5. 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>6 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/0		25	Зд-8	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Часть 2	9-15	7/7/0		25	Зд-15	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		15/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 6				50	3	3-ПК-3, У-ПК-3,

	Семестр						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
Зд	Задание (задача)
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	15	15	0
1-8	Часть 1	8	8	0
1	Введение Цели и задачи курса. Электропроводные среды и плазма. Поле покоящегося точечного заряда в плазме. Радиус Дебаевского экранирования. Ленгмюровская частота.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	Движение частиц в электрических и магнитных полях Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле. Ларморовская частота. Движение частиц в однородных электрических и магнитных полях. Электрический дрейф. Дрейфовая теория. Скорость дрейфа. Центробежный, градиентный, дрейфы. Адиабатические инварианты. Магнитные ловушки и зеркала.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Ионизационное состояние плазмы в термодинамическом равновесии Вывод уравнения Саха в квазиклассическом приближении. Равновесие в оптически тонкой, разреженной плазме.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	Газовый разряд Образование и гибель заряженных частиц в газе. Элементарные процессы ионизации и рекомбинации. Ионизационный коэффициент Таунсенда. Эффекты прилипания и отлипания электронов. Испускание электронов твердыми телами. Ионно-электронная эмиссия. Коэффициент вторичной эмиссии. Самостоятельный газовый разряд. Условие зажигания. Тлеющий разряд. Вольт-амперная характеристика. Катодный слой. Положительный столб тлеющего разряда. Баланс числа частиц. Разряд в быстром потоке газа. Неустойчивости однородного разряда. Электроразрядные лазеры на углекислом газе. Несамостоятельный разряд с ионизацией пучком быстрых электронов. Разряды в мощных лазерах непрерывного действия. Характеристики электроразрядных лазеров.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	7	7	0

9 - 13	Кинетическая теория плазмы Кинетические уравнения. Интеграл столкновения. Уравнения самосогласованного поля. Идеальная плазма. Динамическая сила трения. Тензор диффузии в пространстве скоростей. Интеграл столкновения в форме Ландау. Релаксационные процессы в плазме. Сечение рассеяния, частота столкновений, длина свободного пробега. Сечение рассеяния электронов нейтральными частицами. Транспортное сечение. Столкновения ионов с нейтралами. Резонансная перезарядка. Формула Резерфорда. Закон трех вторых. Время релаксации энергии плазмы. Времена релаксации электронного и ионного импульсов. Установление равновесия в плазме. Термализация. Уравнения переноса. Коэффициенты переноса. Сила трения. Анизотропия плазмы в магнитном поле. Проводимость плазмы. Термосила. Электронный поток тепла. Теплопроводность. Вязкость плазмы. Выделение тепла. Коэффициент диффузии. Подвижность заряженных частиц. Соотношение Эйнштейна. Амбиполярная диффузия. Дрейф электронов и ионов в слабоионизованном газе.	Всего аудиторных часов		
		5	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 15	Низкочастотное приближение Закон Ома для двухкомпонентной плазмы. Ток Холла. Тензорный характер коэффициента электропроводности. Закон Ома для частично ионизованной плазмы. Уравнение индукции магнитного поля. Магнитное число Рейнольдса. Диффузия и вмороженность магнитного поля в плазму. Уравнения магнитной гидродинамики. Начальные, внешние и граничные условия. Распространения малых возмущений в идеальной плазме. Альфеновские и магнитоакустические волны. Одномерное движение плазмы в скрещенных электрическом и магнитном полях. Плазмотроны. Течение Гартмана.	Всего аудиторных часов		
		2	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

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	6 Семестр

	<p>Тема 1 Электродоводные среды и плазма. Поле покоящегося точечного заряда в плазме. Радиус Дебаевского экранирования. Ленгмюровская частота.</p>
	<p>Тема 2 Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле. Ларморовская частота. Движение частиц в однородных электрических и магнитных полях. Электрический дрейф. Дрейфовая теория. Скорость дрейфа. Центробежный, градиентный, дрейфы. Адиабатические инварианты. Магнитные ловушки и зеркала.</p>
	<p>Тема 3 Вывод уравнения Саха в квазиклассическом приближении. Равновесие в оптически тонкой, разреженной плазме.</p>
	<p>Тема 4 Образование и гибель заряженных частиц в газе. Элементарные процессы ионизации и рекомбинации. Ионизационный коэффициент Таунсенда. Эффекты прилипания и отлипания электронов. Испускание электронов твердыми телами. Ионно-электронная эмиссия. Коэффициент вторичной эмиссии. Самостоятельный газовый разряд. Условие зажигания. Тлеющий разряд. Вольт-амперная характеристика. Катодный слой. Положительный столб тлеющего разряда. Баланс числа частиц. Разряд в быстром потоке газа. Неустойчивости однородного разряда. Электроразрядные лазеры на углекислом газе. Несамостоятельный разряд с ионизацией пучком быстрых электронов. Разряды в мощных лазерах непрерывного действия. Характеристики электроразрядных лазеров.</p>
	<p>Тема 5 Кинетические уравнения. Интеграл столкновения. Уравнения самосогласованного поля. Идеальная плазма. Динамическая сила трения. Тензор диффузии в пространстве скоростей. Интеграл столкновения в форме Ландау. Релаксационные процессы в плазме. Сечение рассеяния, частота столкновений, длина свободного пробега. Сечение рассеяния электронов нейтральными частицами. Транспортное сечение. Столкновения ионов с нейтралами. Резонансная перезарядка. Формула Резерфорда. Закон трех вторых. Время релаксации энергии плазмы. Времена релаксации электронного и ионного импульсов. Установление равновесия в плазме. Термализация. Уравнения переноса. Коэффициенты переноса. Сила трения. Анизотропия плазмы в магнитном поле. Проводимость плазмы. Термосила. Электронный поток тепла. Теплопроводность. Вязкость плазмы. Выделение тепла. Коэффициент диффузии. Подвижность заряженных частиц. Соотношение Эйнштейна. Амбиполярная диффузия. Дрейф электронов и ионов в слабоионизованном газе.</p>
	<p>Тема 6 Закон Ома для двухкомпонентной плазмы. Ток Холла. Тензорный характер коэффициента электропроводности. Закон Ома для частично ионизованной плазмы. Уравнение индукции магнитного поля. Магнитное число Рейнольдса. Диффузия и вмороженность магнитного поля в плазму. Уравнения магнитной гидродинамики. Начальные, внешние и граничные условия. Распространения малых возмущений в идеальной плазме. Альфеновские и магнитоакустические волны. Одномерное движение плазмы в скрещенных электрическом и магнитном полях. Плазмотроны. Течение Гартмана.</p>

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) а также, проведение занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

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-3	З-ПК-3	З, Зд-8, Зд-15
	У-ПК-3	З, Зд-8, Зд-15
	В-ПК-3	З, Зд-8, Зд-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-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах

присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ ИЗ2 Избранные вопросы физики плазмы и её применения Вып.1 , , Москва: НИЯУ МИФИ, 2017
2. 537 Р18 Физика газового разряда : , Райзер Ю.П., Долгопрудный: Интеллект, 2009
3. ЭИ П 84 Физика и диагностика плазменных процессов : учеб. пособие, Прохорович Д.Е., Москва: Буки Веди, 2019
4. ЭИ Ц27 Физическая электроника: физика плазмы Ч.1 , Цветков И.В., : МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные понятия общей и статистической физики, а также знать основы математического, векторного и тензорного анализа. Курс разбит на 2 раздела, включающие в себя следующие темы:

Электропроводные среды и плазма.

Движение заряженных частиц в магнитном поле.

Градиентный дрейф. Адиабатические инварианты. Магнитные ловушки и зеркала.

Ионизационное состояние плазмы в термодинамическом равновесии.

Образование и гибель заряженных частиц в газе.

Испускание электронов твердыми телами.

Самостоятельный газовый разряд.

Кинетические уравнения.

Идеальная плазма. Уравнение Власова. Затухание Ландау.

Установление равновесия в плазме.

Коэффициенты переноса в плазме

Уравнения магнитной гидродинамики

Волны в магнитоактивной плазме

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

– Задание

На выбор преподавателя студенту выдается 2 вопроса. Время на подготовку – не более 40 минут. В рамках предложенных тем вопросов, преподаватель может задавать обобщающие вопросы, охватывающие несколько тем, или конкретные задачи-проблемы группе (два и более) студентов с целью оценить работу студентов в коллективе, а так же роль и активность отдельных студентов. Успешное прохождение студентом аттестации отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждой аттестации.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Для успешного обучения по данной дисциплине студент должен знать: основные понятия общей и статистической физики, а также знать основы математического, векторного и тензорного анализа. Курс разбит на 2 раздела, включающие в себя следующие темы:

Электропроводные среды и плазма.

Движение заряженных частиц в магнитном поле.

Градиентный дрейф. Адиабатические инварианты. Магнитные ловушки и зеркала.

Ионизационное состояние плазмы в термодинамическом равновесии.

Образование и гибель заряженных частиц в газе.

Испускание электронов твердыми телами.

Самостоятельный газовый разряд.

Кинетические уравнения.

Идеальная плазма. Уравнение Власова. Затухание Ландау.

Установление равновесия в плазме.

Коэффициенты переноса в плазме

Уравнения магнитной гидродинамики

Волны в магнитоактивной плазме

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

– Задание

На выбор преподавателя студенту выдается 2 вопроса из списка вопросов. Время на подготовку – не более 40 минут. В рамках предложенных тем вопросов, преподаватель может задавать обобщающие вопросы, охватывающие несколько тем, или конкретные задачи-проблемы группе (два и более) студентов с целью оценить работу студентов в коллективе, а также роль и активность отдельных студентов.

Успешное прохождение студентом аттестации отвечает диапазону 15-25 баллов по итогам каждой аттестации.

Автор(ы):

Боговалов Сергей Владимирович, д.ф.-м.н.

Рецензент(ы):

Борисевич В.Д., проф. каф. 10 НИЯУ МИФИ