

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ИОНИЗИРОВАННОГО ГАЗА

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

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
1	2	72	16	16	0		40	0	3
Итого	2	72	16	16	0	0	40	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе рассматриваются вопросы физики ионизованного газа. Изучаются свойства слабоионизованной и плотной плазмы. Рассматриваются основные процессы протекающие в плазме: ионизация, рекомбинация, колебательные свойства.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является:

- 1) Ознакомление студентов с основными факторами, возникающими при ионизации нейтрального газа различными механизмами ионизации.
- 2) Обучить студента анализировать и преодолевать дискриминационные факторы, влияющие на процессы высоковакуумной откачки.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс является важным и основополагающим в научно- исследовательской и инженерно–внедренческой работе инженера-физика. В качестве базовых знаний для усвоения дисциплины необходимы знания стандартного цикла курсов общей физики и высшей математики, умение пользоваться персональным компьютером.

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			
Участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с	Природные и социальные явления и процессы	ПК-3 [1] - Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и	3-ПК-3[1] - Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области ;

использованием современных компьютерных технологий		<p>установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>У-ПК-3[1] - Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты;</p> <p>В-ПК-3[1] - Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области</p>
<p>Участие в модернизации существующих, разработке и внедрении новых методов контроля качества материалов, производственно-технологических процессов и готовой продукции в сфере высоких и наукоемких технологий</p>	<p>инновационный;</p> <p>Модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса</p>	<p>ПК-4 [1] - Способен находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-4[1] - Знать основные методы и принципы нахождения оптимальных решений при создании продукции с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности. ;</p> <p>У-ПК-4[1] - Уметь находить оптимальные решения при создании и освоении новой продукции и технологии, разрабатывать эффективную стратегию с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности. ;</p> <p>В-ПК-4[1] - Владеть навыками нахождения оптимальных решений для создания и освоения новой продукции с учетом требований</p>

			качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности
Проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач	Природные и социальные явления и процессы	<p>ПК-5 [1] - Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ;</p> <p>У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий;</p> <p>В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования, математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</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/ Практик. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	8/8/0		25	Зд-8	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Раздел 2	9-16	8/8/0		25	Зд-16	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	3	З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3,

							З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
--	--	--	--	--	--	--	---

* – 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>1 Семестр</i>	16	16	0
1-8	Раздел 1	8	8	0
1	Введение. Введение. Характеристики слабоионизованной и плотной плазмы. Физические и физико-химические процессы в плазме.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Газ из частиц с кулоновским взаимодействием Газ из частиц с кулоновским взаимодействием. Разреженный ионизованный газ. Плотный газ. Элементы квантовой статистики Ферми-Дирака для электронного газа. Модель по Томасу-Ферми. Вычисление термодинамических функций высоконагретого плотного газа методом Томас-Ферми.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Свойства слабоионизованной плазмы, обусловленные заряженными частицами. Свойства слабоионизованной плазмы, обусловленные заряженными частицами. Статистическая физика слабоионизованного газа. Движение заряженных частиц во внешнем поле. Образование заряженных частиц в слабоионизованной плазме.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Процессы с участием заряженных частиц в газе Процессы с участием заряженных частиц в газе. Движение ионов в газе во внешнем поле. Диффузия заряженных	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		

	частиц в газе во внешнем поле. Движение электронов в газе во внешнем поле.	0	0	0
5	Ионизационные процессы в плазме. Ионизационные процессы в плазме. Основные механизмы. Ионизация невозбужденных атомов электронным ударом. Возбуждение атомов из основного состояния электронным ударом. Ионизация и возбуждение атомов электронным ударом. Ударные переходы между возбужденными состояниями атомов. Ионизация и возбуждение ударами тяжелых частиц. Ионизация излучением плазмы, фотоионизация.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Образование отрицательных ионов Образование отрицательных ионов. Отрицательные атомарные ионы. Отрицательные молекулярные ионы. Механизмы образования отрицательных ионов. Механизмы разрушения отрицательных ионов.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Релаксационные процессы в газах Релаксационные процессы в газах. Уравнение кинетики диссоциации двухатомных молекул и время релаксации. Скорости рекомбинации атомов и диссоциации двухатомных молекул. Химические реакции и метод активированного комплекса. Реакция окисления азота. Скорость образования азота при высоких температурах.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Релаксационные процессы в плазме. Релаксационные процессы в плазме. Электрон-электронная релаксация. Ион-ионная релаксация. Электрон-ионная релаксация. Перенос энергии в плазме. Колебательные процессы в плазме. Ударные волны в плазме. Поляризация плазмы и возникновение электрического поля в ударной волне. Лучистый теплообмен.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Раздел 2	8	8	0
9	Диффузия электронов и ионов в газе. Диффузия электронов и ионов в газе. Закон диффузии Фика и коэффициент диффузии. Связь коэффициентов диффузии и подвижности. Стационарное распределение пространственного заряда ионов в электростатическом поле. Диффузионное расплывание облака в безграничном газе. Уравнение диффузии.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Диффузия и подвижность заряженных частиц в магнитном поле. Диффузия и подвижность заряженных частиц в магнитном поле. Коэффициенты диффузии и подвижности заряженных частиц в магнитном поле. Амбиполярная диффузия. Взаимное расталкивание заряженных частиц в газе.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Рекомбинационные процессы в плазме. Рекомбинационные процессы в плазме. Фоторекомбинация. Электрон-ионная рекомбинация при тройных столкновениях (элементарная теория). Более строгая теория рекомбинации при тройных столкновениях. Ионизация и рекомбинация в воздухе.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Фоторекомбинация	Всего аудиторных часов		

	Рекомбинационные процессы в плазме. Фоторекомбинация. Электрон-ионная рекомбинация при тройных столкновениях (элементарная теория). Более строгая теория рекомбинации при тройных столкновениях. Ионизация и рекомбинация в воздухе.	2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Разлет плотного газа в вакууме. Разлет плотного газа в вакууме. Скачек уплотнения ударных волн с замедленным возбуждением некоторых степеней свободы. Диссоциация двухатомных молекул. Ионизация в одноатомном газе. Ударные волны в плазме. Поляризация плазмы и возникновение электрического поля в ударной волне.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	Нарушение термодинамического равновесия при разлете плазмы в вакууме Нарушение термодинамического равновесия при разлете плазмы в вакууме. Разлет газового облака. Эффект «закалки». Нарушение ионизационного равновесия. Кинетика рекомбинации и охлаждение газа после нарушения ионизационного равновесия.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Конденсация паров при адиабатическом расширении газа Конденсация паров при адиабатическом расширении газа. Насыщение паров и возникновение центров конденсации. Термодинамика и кинетика процесса конденсации. Конденсация в облаке испаренного вещества, разлетающегося в вакууме.	Всего аудиторных часов		
		0	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	Некоторые свойства газового разряда. Некоторые свойства газового разряда. Положительный столб разряда в диффузионном режиме. Положительный столб разряда низкого давления. Условия зажигания слаботочного разряда.	Всего аудиторных часов		
		0	0	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
	<i>1 Семестр</i>
1 - 2	Введение.

	Характеристики слабоионизованной и плотной плазмы. Физические и физико-химические процессы в плазме.
3 - 5	Релаксационные процессы в газах. Уравнение кинетики диссоциации двухатомных молекул и время релаксации. Скорости рекомбинации атомов и диссоциации двухатомных молекул. Химические реакции и метод активированного комплекса. Реакция окисления азота. Скорость образования азота при высоких температурах.
6 - 9	Ионизационные процессы в плазме. Основные механизмы. Ионизация невозбужденных атомов электронным ударом. Возбуждение атомов из основного состояния электронным ударом. Ионизация и возбуждение атомов электронным ударом. Ударные переходы между возбужденными состояниями атомов. Ионизация и возбуждение ударами тяжелых частиц. Ионизация излучением плазмы, фотоионизация.
10 - 11	Релаксационные процессы в плазме. Электрон-электронная релаксация. Ион-ионная релаксация. Электрон-ионная релаксация. Перенос энергии в плазме. Колебательные процессы в плазме. Ударные волны в плазме. Поляризация плазмы и возникновение электрического поля в ударной волне. Лучистый теплообмен.
12 - 13	Рекомбинационные процессы в плазме. Фоторекомбинация. Электрон-ионная рекомбинация при тройных столкновениях (элементарная теория). Более строгая теория рекомбинации при тройных столкновениях. Ионизация и рекомбинация в воздухе.
14 - 16	Пробой и нагревание газа под действием лазерного излучения. Условия развития пробоя. Поглощение лазерного луча и нагревание газа после первичного пробоя.

5. 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.

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-3	З-ПК-3	З, Зд-8, Зд-16
	У-ПК-3	З, Зд-8, Зд-16
	В-ПК-3	З, Зд-8, Зд-16
ПК-4	З-ПК-4	З, Зд-8, Зд-16
	У-ПК-4	З, Зд-8, Зд-16
	В-ПК-4	З, Зд-8, Зд-16
ПК-5	З-ПК-5	З, Зд-8, Зд-16
	У-ПК-5	З, Зд-8, Зд-16
	В-ПК-5	З, Зд-8, Зд-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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	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 –	F	Оценка «неудовлетворительно»

	«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 Ч-49 Кинетика разреженного газа : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Ж 42 Процессы переноса в многокомпонентной плазме : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
3. ЭИ Р 62 Теория плазмы : , Санкт-Петербург: Лань, 2022

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 88 Физика тлеющего разряда : , Санкт-Петербург: Лань, 2022

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

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

– Задание

Для выполнения Задания на выбор преподавателя студенту выдается 2-3 вопроса из списка вопросов. 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.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Аттестация разделов представлена следующими формами контроля:

– Задание

Для выполнения Задания на выбор преподавателя студенту выдается 2-3 вопроса из списка вопросов. 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.

Автор(ы):

Сысоев Александр Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент(ы):

Иванов В.П.