

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФИЗИКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ (ЧАСТЬ 2)**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 16.03.02 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
7	4	144	48	32	0		19	0	Э
Итого	4	144	48	32	0	0	19	0	

## АННОТАЦИЯ

Представляет собой вторую часть годового курса, в которой изучаются элементарные процессы в газе и основные виды газовых разрядов.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- научить студентов понимать физику явлений, происходящих в низкотемпературной плазме и физических основ работы приборов вакуумной и газоразрядной электроники;
- облегчить изучение специальной литературы, дать необходимые сведения для исследовательской работы.

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

Для успешного освоения теоретического курса 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

Данный лекционный курс необходим студентами для выполнения:

- учебно-исследовательских работ по тематике «Газовый разряд и электронные пучки»;
- лабораторных работ дисциплины «Практикум по физике низкотемпературной плазмы»,
- решения задач на семинарских занятиях практического курса «Физика низкотемпературной плазмы (часть 2)»;

Курс необходим как предшественник для изучения студентами следующих лекционных курсов:

- «Плазменные установки»;
- «Плазмохимия».

### 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	Объект или	Код и наименование	Код и наименование
--------	------------	--------------------	--------------------

профессиональной деятельности (ЗПД)	область знания	профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	индикатора достижения профессиональной компетенции
расчетно-экспериментальный с элементами научно-исследовательского			
Создание и применение плазмы, пучков заряженных частиц, как в качестве объектов исследования, так и для использования их в составе диагностических средств	Плазма, пучки заряженных частиц, диагностические средства	<p>ПК-2.2 [1] - Способен к созданию и применению плазмы, пучков заряженных частиц, как в качестве объектов исследования, так и для использования их в составе диагностических средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.002</p>	<p>З-ПК-2.2[1] - Знать способы создания, получения, применения и основные методы исследования и диагностики плазмы и пучков заряженных частиц;</p> <p>У-ПК-2.2[1] - Уметь работать на экспериментальных установках по созданию и исследованию параметров плазмы и пучков заряженных частиц;;</p> <p>В-ПК-2.2[1] - Владеть навыком работы на диагностических комплексах в основе которых лежит применение плазмы или пучков заряженных частиц</p>
Использование основных законов физики плазмы и ее взаимодействия с веществом для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов	Основные законы физики плазмы и ее взаимодействия с веществом для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов	<p>ПК-2.3 [1] - Способен использовать основные законы физики плазмы и ее взаимодействия с веществом для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-2.3[1] - Знать основные понятия и законы физики плазмы и ее взаимодействия с веществом, основные понятия, законы и модели, используемые для описания, изучения и оценки параметров и характеристик исследуемых физических объектов ;</p> <p>У-ПК-2.3[1] - Уметь использовать основные законы физики плазмы и ее</p>



	<i>7 Семестр</i>						
1	Элементарные процессы и движение заряженных частиц в газе	1-8	24/16/0		25	КИ-8	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3
2	Электрический ток в газе	9-16	24/16/0		25	КИ-16	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		48/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3

\* – 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:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	48	32	0
<b>1-8</b>	<b>Элементарные процессы и движение заряженных частиц в газе</b>	24	16	0
1 - 2	<b>Рассеяние электронов и ионов в газе</b> Рассеяние электронов и ионов в газе. Полное сечение взаимодействия и средний свободный пробег. Опыт Рамзауэра.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Элементарные процессы</b> Возбуждение атомов и молекул электронами, ионами, нейтральными атомами и фотонами. Ионизация электронным ударом и ионами. Многократная ионизация. Ионизация быстрыми нейтральными частицами. Термическая ионизация. Формула Саха. Фотоионизация. Рекомбинация ионов и электронов. Образование отрицательных ионов. Экспериментальные методы исследования рекомбинации заряженных частиц.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Подвижность</b> Скорость дрейфа, подвижность электронов и ионов в газе. Методы измерения подвижности электронов и ионов. Теория дрейфа заряженных частиц в газе Ланжевена и Томпсона.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Диффузия заряженных частиц</b> Диффузия заряженных частиц соотношение Эйнштейна. Амбиполярная диффузия. Диффузия в магнитном поле. Экспериментальные методы исследования процесса диффузии.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Электрический ток в газе</b>	24	16	0
9	<b>ВАХ газового разряда</b> Несамостоятельный разряд в газе: без ионизационного усиления и с ионизационным усилением	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Формирование самостоятельного разряда</b> Образование лавин. Коэффициент Таунсенда. Потенциал зажигания самостоятельного разряда. Закон Пашена. Постоянная Столетова. Влияние пространственного заряда на распределение потенциала.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

11 - 12	<b>Тлеющий разряд</b> Тлеющий разряд. Основные области разряда. Катодная область, теория катодной области тлеющего разряда. Нормальный и аномальный тлеющий разряд. Положительный столб тлеющего разряда, режим низкого давления. Основные уравнения: уравнение равновесия плазмы, образование ионов, токов.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Дуговой разряд</b> Дуговой разряд. Столб дугового разряда в диффузионном режиме, его температура, энергетический баланс. Катод и анод в дуговом разряде. Контрагированная дуга. Вакуумная дуга с горячим катодом.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 15	<b>Другие виды разрядов</b> Высокочастотный разряд с внешними или внутренними электродами. Индукционный разряд. Факельный разряд. Использование в.ч. разряда в технике и плазмохимии. Коронный разряд. Положительная и отрицательная корона, условия коронного пробоя, вольтамперная характеристика короны. Искровой разряд. Стриммерная теория искрового разряда. Напряжение искрового пробоя.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	<b>Разряд в магнитном поле</b> Пробой газоразрядного промежутка в поперечном магнитном поле. Теория пробоя Хофера-Редхеда. Пробой в неоднородном	Всего аудиторных часов		
		3	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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекционный курс предусматривает демонстрационный материал по каждой теме занятий, который представляется либо в виде слайдов, либо в виде образцов реальных устройств. Задача лектора доступно объяснить на основе прочитанного лекционного материала, как и где используются явления, модели и условия применимости.

Другие интерактивные формы обучения предусмотрены в дополняющих курс отдельных модулях семинарских и лабораторных занятий.

## 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-2.2	З-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-2.3	З-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.3	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 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.
--	--	--	--

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ X58 Gas Discharge and Gas Insulation : , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
2. ЭИ F85 Low Pressure Plasmas and Microstructuring Technology : , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,, 2009
3. 537 Ф50 Физическая электроника и низкотемпературная плазма : лабораторный практикум, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
4. ЭИ K93 Введение в пучковую электронику : учеб. пособие для вузов, В. А. Курнаев, Ю. С. Протасов, И. В. Цветков, Москва: МИФИ, 2008
5. 621.38 K93 Введение в пучковую электронику : учебное пособие для вузов, В. А. Курнаев, Ю. С. Протасов, И. В. Цветков, Москва: МИФИ, 2008
6. ЭИ C23 Сборник задач по физической электронике и физике плазмы : учебное пособие для вузов, В. И. Ильгисонис [и др.], Москва: МИФИ, 2008
7. 621.38 C23 Сборник задач по физической электронике и физике плазмы : учебное пособие для вузов, В. И. Ильгисонис [и др.], Москва: МИФИ, 2008
8. 544 P67 Физикохимия поверхности : , В. И. Ролдугин, Долгопрудный: Интеллект, 2008
9. ЭИ Ж42 Явления переноса в газах и плазме : учебное пособие для вузов, В. М. Жданов, Москва: МИФИ, 2008
10. 533 Ж42 Явления переноса в газах и плазме : учебное пособие для вузов, В. М. Жданов, Москва: МИФИ, 2008
11. 537 P18 Физика газового разряда : , Ю. П. Райзер, Долгопрудный: Интеллект, 2009

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Л33 Введение в зондовую диагностику плазмы пониженного давления : Учеб. пособие для вузов, Ю. А. Лебедев, М.: МИФИ, 2003

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

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

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

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

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

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

Курс представляет теоретический курс лекций и курс практических занятий.

Лекционная часть предназначена с ознакомлением с основными понятиями и определениями, практическая часть введена для разбора типичных примеров решения задач и закрепления материала.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине является экзамен в 7-м семестре.

В семестре студент может получить максимум 100 баллов: 50 баллов за работу в семестре и 50 баллов на экзамене.

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе.

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

Данный учебный курс состоит из теоретической части, где преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия и практической части, на которой разбирается типичный пример решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала.

Методические указания по проведению лекций.

Лекции по курсу призваны решать две основные задачи:

- информативную, т.е. сообщать студенту определенный набор теоретических знаний об изучаемой области действительности;

- 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.

Существует общий структурный каркас, применимый к любой лекции. Прежде всего, это сообщение плана лекции студентам и строгое ему следование. В план лекции включаются основные вопросы лекции, которые могут послужить базой для составления экзаменационных билетов. 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, 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.

Методические указания по проведению практических занятий.

Практические занятия по данной дисциплине направлены главным образом на закрепление и расширение полученных теоретических знаний, а также на самостоятельное решение практических ситуаций. Практические занятия 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. Как правило, во

время практических занятий основное внимание уделяется формированию конкретных умений, навыков, что определяет содержание деятельности студентов. Структура практических занятий по дисциплине включает: постановку задач преподавателем; ответы на вопросы студентов для уточнения материала; защиту решения практических задач и др.

Автор(ы):

Евсин Арсений Евгеньевич

Крашевская Галина Витальевна, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

Д.ф.-м.н., Лебедев Ю.А.