

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  
ПЛАЗМОХИМИЯ

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
3	3	108	16	32	0		60	0	3
Итого	3	108	16	32	0	0	60	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе «Плазмохимия» изучаются самосогласованные процессы и физико-химические явления, происходящие в низкотемпературной плазме. Рассматриваются квазиравновесные и неравновесные системы и их области применений. Делается упор на наиболее актуальные технологические приложения низкотемпературной плазмы в областях конверсии газов, синтеза наноматериалов, электронной промышленности.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Плазмохимия» является обучение будущих магистров пониманию специфики самосогласованных физико-химических явлений, происходящих в низкотемпературной плазме, знакомство с наиболее актуальными на сегодняшний день плазмохимическими технологиями и перспективами их применения, облегчение изучения специальной литературы, а также получение сведений, необходимых для исследовательской работы.

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

Содержание программы «Плазмохимия» представляет собой развитие полученных ранее знаний 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, физика низкотемпературной плазмы; вакуумная технология плазменных установок.

Курс плазмохимии входит в число базовых при подготовке современных студентов на уровне магистров.

Изучение дисциплины позволит студентам глубже изучить физику физико-химических явлений, происходящих в низкотемпературной плазме.

### 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			
Анализ научно-технической информации, постановка научной проблемы, обработка и обобщение полученных результатов	Научно-техническая информация по тематике исследований, результаты исследования	<p>ПК-3 [1] - Способен анализировать научно-техническую информацию, научные проблемы, результаты, перспективы по тематике проводимых исследований и разработок</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>3-ПК-3[1] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения ;</p> <p>У-ПК-3[1] - Уметь: проводить поиск, анализ научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок; обобщать и критически анализировать полученную информацию; проводить критический анализ своих результатов и результатов других исследователей;</p> <p>В-ПК-3[1] - владеть навыками поиска и анализа научно-технической информации, выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок, обобщения и критического анализа</p>

		информации.
--	--	-------------

#### 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	Часть 1	1-8	8/16/0		25	к.р-8	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
2	Часть 2	9-16	8/16/0		25	к.р-16	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
<i>Итого за 3 Семестр</i>							
	<b>Контрольные мероприятия за 3 Семестр</b>				50	3	3-ПК-3, У-ПК-3, 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
к.р	Контрольная работа
3	Зачет

#### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	16	0
1	<b>Физико-химические процессы в НТП. Введение.</b> Введение. Область изучаемых параметров (плотность, температура, атомарный и молекулярный состав) НТП и ее научное и прикладное значение. Области применений плазменных технологий. Обзор актуальных вопросов физики и химии НТП.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	2 0	0
2	<b>Равновесная и неравновесная НТП</b> Равновесная и неравновесная НТП. Элементарные процессы в НТП. Упругие столкновения. Неупругие	Всего аудиторных часов 1 Онлайн	2 0	0

	столкновения электронов с атомами, ионами, молекулами и тяжелыми частицами. Элементарные радиационные процессы. Средняя энергия, передаваемая атому при столкновениях. Радиационный перенос возбуждения; особенности переноса; уравнения радиационного переноса возбуждения.	0	0	0
3	<b>Критерии возникновения неравновесных состояний</b> Критерии возникновения неравновесных состояний. Критерий отрыва температуры электронов. Критерий равновесной ионизации и равновесного распределения атомов по уровням. Критерии нарушения максвелловского распределения.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Кинетика заселения возбужденных состояний</b> Кинетика заселения возбужденных состояний. Кинетика ионизации и рекомбинации. Распределение электронов по энергиям и баланс энергии электронов. Распределения Дройвестейна и Маргенау	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Модели ионизационного равновесия</b> Области применимости различных уравнений ионизационного равновесия. Нестационарная неравновесная плазма. Критерии квазистационарности. Ионизационная релаксация. Излучение нестационарной плазмы. Релаксация функции распределения. Неустойчивости неравновесной плазмы во внешнем электрическом поле.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Кинетика молекулярной плазмы</b> Кинетика молекулярной плазмы Кинетика молекулярной плазмы. Установление термодинамического равновесия. Возбуждение вращений молекул. Уравнение кинетики для релаксации колебательной энергии молекул. Распределение Тринора. Стационарное распределение в случае сильного возбуждения.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Основные положения химической кинетики (ХК)</b> Основные положения химической кинетики (ХК) Основные положения химической кинетики (ХК). Равновесная и неравновесная ХК. Аррениусова кинетика и ее ограниченность. Константа скорости химической реакции и ее вывод из термодинамических и газокинетических соотношений. Энергия активации и пороговая энергия.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Классификация ПХ-реакций и ПХ-реакторов</b> Классификация ПХ-реакций и ПХ-реакторов Классификация ПХ-реакций и ПХ-реакторов. ПХР с равновесной плазмой. Типы генераторов НТП. Плазмотроны.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Часть 2</b>	8	16	0
9	<b>Примеры промышленного применения равновесной плазмохимии</b> Примеры промышленного применения равновесной плазмохимии. Конверсия метана в ацетилен. Моделирование и методы расчета. Проблема закалки	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

10	<b>ПХР с неравновесной плазмой и их преимущества</b> ПХР с неравновесной плазмой и их преимущества. Виды неравновесности и способы их осуществления. Принципиальные схемы. Диэлектрический барьерный разряд. Скользящая дуга.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
11	<b>Сравнительные характеристики свойств и параметров неравновесной НТП и ПХР</b> Сравнительные характеристики свойств и параметров неравновесной НТП и ПХР с разрядами различных типов (ВЧ, СВЧ, тлеющего).	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
12	<b>Плазмохимические методы конверсии углекислого газа</b> Плазмохимические методы конверсии углекислого газа Плазмохимическая диссоциация и конверсия углекислого газа. Основные физико-химические процессы. Селективность и энергоэффективность реакторов различного типа. Актуальные направления исследований.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
13	<b>Проблема фиксации атмосферного азота. Технологии и методы</b> Проблема фиксации атмосферного азота. Технологии и методы Традиционные методы фиксации атмосферного азота. Процессы Оствальда и Габера-Боша. Плазмохимические методы фиксации атмосферного азота и их перспективы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
14	<b>Применение НТП для синтеза наноматериалов</b> Применение НТП для синтеза наноматериалов Взаимодействие плазмы с жидкостями. Классификация конфигураций реакторов и их сравнительный анализ. Характеристики синтезируемых порошков.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
15 - 16	<b>Применение НТП в микро- и наноэлектронной промышленности</b> Применение НТП в микро- и наноэлектронной промышленности Плазменная очистка и активация. Плазменное и радиационно-ионное травление (ПТ и РИТ). Осаждение тонкопленочных покрытий. Методы PVD, CVD, ALD.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		

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

По направлению подготовки (специальности) предусматривается широкое использование современных компьютерных методик проведения учебных процессов 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, к.р-8, к.р-16
	У-ПК-3	З, к.р-8, к.р-16
	В-ПК-3	З, к.р-8, к.р-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.
---------	------------------------------	---	---

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

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ F97 Fundamental Aspects of Plasma Chemical Physics : Kinetics, Gorse, Claudine. [и др.], New York, NY: Springer New York, 2016
2. 533 М80 Введение в плазмодинамику : , Морозов А.И., Москва: Физматлит, 2008
3. 544 З-19 Закономерности протекания химических реакций (химическая термодинамика, кинетика, равновесие) : учебное пособие по курсу общей химии, Кучук Ж.С. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
4. ЭИ М54 Методы генерации и диагностики плазмы : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, , Москва: МИФИ, 2008
5. 621.039 М54 Методы генерации и диагностики плазмы : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, , Москва: МИФИ, 2008
6. 544 Р67 Физикохимия поверхности : , Ролдугин В.И., Долгопрудный: Интеллект, 2008

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 533 М80 Введение в плазмодинамику : , Морозов А.И., Москва: Физматлит, 2006
2. 544 З-15 Задачи по химической термодинамике : , Музыкантов В.С. [и др.], М.: Химия, 2001
3. 533 Б59 Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы : , Воробьев В.С., Якубов И.Т., Биберман Л.М., М.: Наука, 1982
4. 678 П50 Полимерные композиционные материалы: прочность и технология : , Баженов С.Л. [и др.], Долгопрудный: Интеллект, 2010
5. 533 М12 Теплообмен неравновесной плазмы с поверхностью : , Магунов А.Н., М.: Физматлит, 2005
6. 533 Р88 Физика химически активной плазмы : , Фридман А.А., Русанов В.Д., М.: Наука, 1984

7. 533 Х88 Физико-химические процессы в плазмо-химических реакторах : Учеб. пособие, Храбров В.А., М.: МИФИ, 1983

8. 533 Х46 Химия плазмы Вып.4 , , М.: Атомиздат, 1977

9. 533 Э-68 Энциклопедия низкотемпературной плазмы Вводный том Кн.1, , М.: Наука, Интерпериодика, 2000

10. 533 Э-68 Энциклопедия низкотемпературной плазмы Вводный том Кн.2, , М.: Наука, Интерпериодика, 2000

11. 533 Э-68 Энциклопедия низкотемпературной плазмы Вводный том Кн.3, , М.: Наука, Интерпериодика, 2000

#### 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/>)

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

<http://library.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 «Плазмохимия» состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия, и разбираются типичные примеры решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала.

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

Текущий контроль проводится с помощью контрольных работ

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.

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

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

Разбор задач на занятиях по дисциплине «Плазмохимия» 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.

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

Текущий контроль проводится с помощью контрольных работ

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.

Автор(ы):

Казиев Андрей Викторович

Рецензент(ы):

д.ф.-м.н., зав. лабораторией ИНХС РАН, Лебедев  
Ю.А.