

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 ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО

УМС ЛАПЛАЗ Протокол №1/08-577 от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВЫ ФИЗИКИ ГОРЕНИЯ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.03.01 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, экз./зач./КР/КП
8	3	108	22	22	0		28	0	Э
Итого	3	108	22	22	0	0	28	0	

АННОТАЦИЯ

Учебный курс знакомит с основами физики горения, охватывая широкий круг вопросов от химической кинетики до явлений, возникающих при горении в многофазных системах. Представленные сведения включают как классические вопросы теории горения и взрыва, так и результаты современных актуальных научных исследований экспериментального и теоретического характера.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Основы физики горения» является: ознакомление студентов с методологией теории горения.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин:

Математика: обыкновенные дифференциальные уравнения; Математика: математический анализ;

Физика: механика, молекулярная физика и основы статистической термодинамики; Уравнения математической физики;

Теоретическая физика: Статистическая физика.

Знания материалов по этой дисциплине необходимы при выполнении выпускной работы, а также при практической работе выпускников по специальности.

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			
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам	Деятельность по разработке материалов, покрытий,	ПК-1 [1] - Способен проводить сбор, анализ научно-технической информации,	З-ПК-1[1] - Знать способы сбора, анализа научно-технической

(этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований. участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок;	приборов	отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 25.049, 40.011	информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования. ; У-ПК-1[1] - Уметь синтезировать и анализировать научно-техническую информацию по тематике исследования. ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками сбора, синтеза и анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.
Проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований. участие	Деятельность по разработке материалов, покрытий, приборов	ПК-4 [1] - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001, 25.049, 40.008, 40.011	3-ПК-4[1] - Знать основные методики и методы исследования в сфере своей профессиональной деятельности ; У-ПК-4[1] - Уметь анализировать и критически оценивать применяемые методики и методы исследования.; В-ПК-4[1] - Владеть

в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок;			навыками выбора и критической оценки применяемых методик и методов исследования в сфере своей профессиональной деятельности
экспертно-аналитический			
сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций	результаты исследований, научные и аналитические отчеты, научные публикации	ПК-10 [1] - Способен к аналитической и количественной оценке процессов в природе, технике и обществе и к выбору на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022, 40.008, 40.011	З-ПК-10[1] - Знать основные методики, цели и задачи построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе. ; У-ПК-10[1] - Уметь строить аналитические и количественные модели процессов в природе, технике и обществе и выбирать на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического,

результатов научных и аналитических исследований; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок; изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; Квалифицированное использование исходных данных, материалов, оборудования, методов математического и физического моделирования производственно-технологических процессов и характеристик наукоемких технических устройств и объектов, включая использование алгоритмов и программ расчета их параметров.			технико-технологического характера. ; В-ПК-10[1] - Владеть навыками построения аналитических и количественных моделей процессов в природе, технике и обществе и выбора на их основе путей решения теоретических и практических проблем природного, экологического, технико-технологического характера
---	--	--	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в

	нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21)	профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
--	---	--

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>8 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	16/8/0	Кл-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-10, У-ПК-10,

							В-ПК-10
2	Раздел 2	9-15	6/14/0	ДЗ-15 (25)	25	КИ-15	В-ПК-10, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-10, У-ПК-10
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		22/22/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	З-ПК-10, З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, У-ПК-10, В-ПК-10

* – 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
Кл	Коллоквиум
ДЗ	Домашнее задание
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	22	22	0
1-8	Раздел 1	16	8	0
1 - 2	История науки о горении. История науки о горении. Методология. Практические примеры. Современная проблематика.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Основы химической термодинамики, газовой динамики и кинетики реакций горения. Уравнение состояния. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия и энтальпия. Теплота реакции. Второе начало термодинамики. Энтропия. Термодинамическое равновесие. Термодинамика газовых смесей. Уравнения газовой динамики. Явления переноса. Химическая кинетика. Скорость химической реакции. Цепные реакции.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Закон Аррениуса. Закон Гесса.			
5 - 6	Теория распространения ламинарного пламени в предварительно перемешанных газах. Подобие температурных и концентрационных полей. Приближенная теория Зельдовича - Франк-Каменецкого. Сравнение теоретических и экспериментальных результатов. Образование сажи и окислов азота при горении. Распространение ламинарного пламени в газе, реагирующем при начальной температуре.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Теория пределов ламинарного горения и диффузионное пламя. Теория пределов распространения ламинарного пламени в предварительно перемешанных газах. Экспериментальные результаты. Теория ламинарного диффузионного горения. Задача Бурке - Шумана. Приближение поверхности пламени.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Раздел 2	6	14	0
9 - 10	Горение капель. Горение капли горючего в атмосфере окислителя. Скорость горения. Сравнение теории с экспериментальными данными. Горение топливных струй. Горение в дизельных, прямоточных, газотурбинных и ракетных двигателях, работающих на жидком топливе. Термодинамические циклы двигателей. Пути повышения эффективности процесса горения.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Теория воспламенения и зажигания. Нестационарная теория теплового взрыва. Диаграмма Семенова. Период индукции. Влияние выгорания вещества на период индукции. Стационарная теория теплового взрыва. Решения для плоского и цилиндрического сосудов. Локальное зажигание горячей поверхностью. Искровое воспламенение. Физические основы самовоспламенения. Представления Маляра-Ле-Шателье и Вант-Гоффа о процессах воспламенения и горения смесей. Тепловой взрыв. Метод тепловой бани. Зависимость предела самовоспламенения от начальной температуры, размера сосуда и размера образца, скорости нагрева.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Горение в закрытых сосудах. Горение предварительно перемешанных газов в закрытых сосудах. Эффект Махе. Расчет распределения температуры в сферическом сосуде при центральном поджигании. Экспериментальные проявления эффекта Махе. Горение в двигателях с искровым зажиганием. Образование окиси азота при горении в закрытых сосудах.	Всего аудиторных часов		
		1	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Методы исследования высокотемпературных химических реакций горения Методы исследования высокотемпературных химических реакций горения. Бомба Трауцля. Приборы постоянного давления. Вакуумные установки Легко разрушающиеся оболочки. Ствольные системы. Ракетный двигатель. Взрывной бокс.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Покадровая и скоростная киносъемка. Метод непрерывной щелевой развертки. Видеокамеры. Спектральные оптические методы. Самописцы. Хронометры. Механический маятник. Термопары. Пьезоэлектрические, индукционные высокочастотные, мембранные, электромагнитные датчики. Компьютерная регистрация и анализ. Теневая, атомно-силовая, сканирующая электронная микроскопия, люминесцентная микроскопия. Микрокалориметрия. Дериватография. Спектроскопия. Рентгенофазовый анализ. Измеритель удельного импульса.			
--	---	--	--	--

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

Основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций и семинаров, а также самостоятельная работа студентов. Лекции проводятся с помощью технических средств-презентации.

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-1	З-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-15
	У-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-15
	В-ПК-1	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-15
ПК-10	З-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-15
	У-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-15
	В-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-15
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-15

	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15, Кл-8, ДЗ-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 – <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 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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 R88 The Modes of Gaseous Combustion : , Rubtsov, Nickolai M. , Cham: Springer International Publishing, 2016

2. ЭИ А42 Лабораторный практикум по физике горения газообразных и конденсированных сред по газодинамике ударных и детонационных волн : учебное пособие для вузов, Аксенов В.С., Любимов А.В., Губин С.А., Москва: МИФИ, 2007
3. 544 Ф83 Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике : диффузия и теплопередача в химической кинетике, Франк-Каменецкий Д.А., Долгопрудный: Интеллект, 2008
4. ЭИ Т 63 Теория горения и взрыва : учебник и практикум для вузов, Тотай А. В., Москва: Юрайт, 2021
5. ЭИ А 65 Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы : Учебное пособие для вузов, Милевский К. Е. [и др.], Москва: Юрайт, 2020

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 66 Б26 Газодинамика горения : , Бартльме Ф., Москва: Энергоиздат, 1981
2. 544 Л91 Горение, пламя и взрывы в газах : , Льюис Б., Эльбе Г., Москва: Мир, 1968
3. 536 М34 Математическая теория горения и взрыва : , Зельдович Я.Б. [и др.], М.: Наука, 1980
4. 532.5 Щ70 Физика горения газов : , Щетинков Е.С., Москва: Наука, 1965
5. 536 Х52 Физика горения и взрыва : учебное пособие для университетов, Хитрин Л.Н., Москва: МГУ, 1957

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

Методические указания студентам очной формы обучения представлены в виде:

- методических рекомендаций при работе над конспектом лекций во время проведения лекции;
- методических рекомендаций по самостоятельной работе над изучаемым материалом и при подготовке к семинарским занятиям;

- методических рекомендаций по изучению рекомендованной литературы.

Изучение разделов дисциплины, выполнение самостоятельных работ, подготовка к контрольным мероприятиям включает в себя две части: теоретическую и прикладную – непосредственное выполнение задания.

Теоретическая часть предполагает проработку разделов курса, относящихся к заданию. Необходимо определить раздел курса выполняемой работы, уяснить вывод основных закономерностей и использовать их при решении задач, ознакомиться с решениями типовых задач, приведенных в рекомендуемой литературе. После этого следует приступить к выполнению задания.

В ходе подготовки к практическим занятиям необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. Подготовить тезисы для выступлений по всем учебным вопросам, выносимым на практическое занятие. Готовясь к докладу или реферативному сообщению, обращаться за методической помощью к преподавателю. Составить план-конспект своего выступления. Продумать примеры с целью обеспечения тесной связи изучаемой теории с реальной жизнью.

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций и изучении рекомендованной литературы. Студентам рекомендуется получить в Библиотечно-информационном центре университета учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы.

В процессе подготовки к занятиям рекомендуется взаимное обсуждение материала, во время которого закрепляются знания, а также приобретается практика в изложении и разъяснении полученных знаний, развивается речь.

При необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций и семинаров, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания, повторения ранее пройденного материала. Необходим своевременный текущий контроль усвоения материала.

Автор(ы):

Фролов Сергей Михайлович, д.ф.-м.н., с.н.с.