

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики неравновесных процессов**



Рабочая программа дисциплины

ФИЗИКА ГОРЕНИЯ

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	32			38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Курс «Физика горения» имеет своей целью обучение студентов фундаментальным основам теоретических представлений о процессах горения и природе наиболее характерных явлений в системах с горением, усвоение студентами основных понятий, связанных с изучением горения в различных условиях, ознакомление с методами и подходами к описанию физических закономерностей, имеющих важное значение для науки и техники.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные понятия теории горения, базовые физико-математические модели теплофизики и механики реагирующих сред, базовые разделы теории горения: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p>Уметь анализировать физические механизмы, характерные для систем с самоускоряющимися химическими реакциями: при тепловом взрыве, ламинарном и турбулентном горении газовых смесей, фильтрационном горении, детонации; решать типовые учебные задачи по основным разделам теории горения; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов теории горения, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов теории горения для решения научно-инновационных задач; применять знания теории горения для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области теории горения и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; владеть навыками решения представленных в курсе задач теории горения газовых смесей; методикой построения, анализа и применения математических моделей горения для оценки состояния, и прогноза развития физических процессов и явлений, навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам теории горения; основной</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов теории горения; навыками решения базовых задач по теории горения; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов теории горения при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области физики горения и смежных дисциплин.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика горения» реализуется в осеннем семестре 4-го курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики неравновесных процессов. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений, элементы теории групп и др.). Он должен предшествовать выполнению квалификационной работы бакалавра по данной специализации, т.к. дает бакалавру необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения рентгеноструктурных исследований поли- и монокристаллов в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	32			38				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 38 часов;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачет) – 2 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, дифференцированный зачет) составляет 34 часа.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Физика горения» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 3-м курсе физического факультета НГУ в 7 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение	1	2	2			
2	Модели гомогенных реакторов	2-3	8	6		10	
3	Теория теплового взрыва.	4-6	10	6		10	
4	Газодинамика реагирующих течений.	7-9	10	6		10	
5	Горение в предварительно перемешанной смеси	10-12	10	6		4	
6	Диффузионное пламя	13-16	10	6		4	
7	Дифференцированный зачёт	17	2				2
Итого:			72	32		38	2

Программа курса лекций

Введение.

Основы химической термодинамики и элементы химической кинетики. Определяющие уравнения газовой динамики многокомпонентной химически реагирующей среды.

Модели гомогенных реакторов

Идеализованные представления о системах с горением. Модель гомогенного реактора. Замкнутые реакторы постоянного объема и постоянного давления. Проточные реакторы идеального перемешивания.

Теория теплового взрыва

Адиабатный тепловой взрыв. Тепловой взрыв в условиях теплопотерь в окружающую среду - теории Семенова и Франк-Каменецкого. Критические условия воспламенения, период индукции. Обратные задачи теории самовоспламенения.

Газовая динамика реагирующих течений.

Соотношения Рэнкина-Гюгонио. Теория Чепмена-Жуге. Режимы детонации и дефлаграции. ЗНД-модель детонационной волны.

Горение в предварительно перемешанной смеси

Тепловая теория Ле-Шателье. Тепло-кинетическая теория Зельдовича. Неустойчивость ламинарного пламени, ее механизмы. Турбулентное пламя в предварительно перемешанной смеси. Режимы турбулентного горения. Теории Дамкелера и Щелкина. Модель дробления вихрей. Современные модели турбулентного горения в предварительно перемешанной смеси.

Диффузионное пламя

Ламинарное диффузионное пламя. Теория Шваба-Зельдовича. Модель Бурке-Шумана. Уравнения флеймлета. Турбулентное диффузионное пламя. Режимы горения. Описание на основе функции плотности вероятности. Основы численного моделирования горения.

Самостоятельная работа студентов (38 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	12
Подготовка к контрольным работам	12
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	14

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Шарыпов О.В. Введение в физику горения. Учеб. пособие / НГУ, 2010.(интернет-ресурс: http://www.itp.nsc.ru/KSITE/right/doc/lectures/Sharypov_Combustion_Physics.pdf.)
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI).
3. Франк-Каменецкий Д.А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике: Учебник-монография / 4-е изд. - Долгопрудный: Интеллект, 2008. - 408 с.

5.2. Дополнительная литература

1. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович Б.В., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.
2. Law C.K. "Combustion physics", Cambridge university press, 2012.
3. Kuo K.K., Acharya R., «Fundamentals of turbulent and multiphase combustion», Wiley, 2012.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Учебное пособие: Шарыпов О.В. Введение в физику горения. НГУ, 2010.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Реализация дисциплины осуществляется с применением электронного обучения на платформе Zoom где обучение проводится на виртуальных аналогах, позволяющим достигать запланированных результатов по дисциплине.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины;

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно решить контрольные задачи.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики горения в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированный зачет. Дифференцированный зачет проводится в конце семестра по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основные понятия теории горения, базовые физико-математические модели теплофизики и механики реагирующих сред, базовые разделы теории горения: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы и способы их использования при решении научно-инновационных задач.	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.
ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	Уметь анализировать физические механизмы, характерные для систем с самоускоряющимися химическими реакциями: при тепловом взрыве, ламинарном и турбулентном горении	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.

	<p>газовых смесей, фильтрационном горении, детонации;</p> <p>решать типовые учебные задачи по основным разделам теории горения;</p> <p>применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий;</p> <p>применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов теории горения, необходимых в профессиональной деятельности;</p> <p>определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов теории горения для решения научно-инновационных задач;</p> <p>применять знания теории горения для анализа и обработки результатов физических экспериментов;</p> <p>проводить анализ научной и технической информации в области теории горения и смежных дисциплин.</p>	
<p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Владеть навыками самостоятельной работы со специализированной литературой;</p> <p>владеть навыками решения представленных в курсе задач теории горения газовых смесей;</p> <p>методикой построения, анализа и применения математических моделей горения для оценки состояния, и прогноза развития физических процессов и явлений;</p> <p>навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам теории горения;</p> <p>основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов теории горения;</p> <p>навыками решения базовых задач по теории горения;</p> <p>основными методами научных исследований;</p> <p>навыками использования теоретических основ базовых разделов теории горения при решении научно-инновационных задач;</p> <p>знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области физики горения и смежных дисциплин.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика горения».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Перечень типовых контрольных заданий для проведения текущего контроля успеваемости обучающихся.

Задание 1. Найти критические условия погасания и зажигания в модели гомогенного реактора идеального перемешивания.

Задание 2. Вывести соотношения Ренкина-Гюгонио для неидельного газа. В качестве уравнения состояния принять $p(V-b)=RT$ (уравнение Нобла-Абеля). Сопоставить результат с «классическими» соотношениями, провести анализ и сделать выводы.

Задание 3. Определить минимальный тепловой поток необходимый для зажигания внешней поверхностью цилиндра.

Задание 4. Базируясь на теории теплового взрыва Семенова рассмотреть случай самовоспламенения при неравновесных начальных условиях. Определить критические условия, оценить период индукции.

Задание 5. В рамках теории Шваба-Зельдовича и модели Бурке-Шумана оценить расстояние, на котором находится фронт пламени, при горении капли жидкости в отсутствии силы плавуемости.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ БИЛЕТЫ:

Билет № 1. Модель гомогенного реактора. Замкнутые реакторы постоянного объема\давления. Реактор идеального перемешивания.

Билет № 2. Теория теплового взрыва. Адиабатный тепловой взрыв. Тепловой взрыв в условиях теплопотерь в окружающую среду (теория Семенова, теория Франк-Каменецкого). Обратные задачи теории самовоспламенения.

Билет № 3. Газовая динамика реагирующих течений. Соотношения Рэнкина-Гюонио. Теория Чепмена-Жуге. Режимы детонации и дефлаграции. ЗНД-модель детонационной волны.

Билет № 4. Ламинарное пламя в смеси перемешанных реагентов. Тепловая теория Ле-Шателье. Тепло-кинетическая теория Зельдовича. Неустойчивость ламинарного пламени, ее механизмы.

Билет № 5. Ламинарное диффузионное пламя. Теория Шваба-Зельдовича. Модель Бурке-Шумана. Уравнения флеймлета.

Билет № 6. Турбулентное пламя в предварительно перемешанной смеси. Режимы турбулентного горения. Теории Дамкелера и Щелкина. Модель дробления вихрей. Другие модели турбулентного горения в предварительно перемешанной смеси.

Билет № 7. Турбулентное диффузионное пламя. Режимы горения. Описание на основе функции плотности вероятности. Основы численного моделирования горения.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

МИНОБРНАУКИ РОССИИ	
<i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i>	
Физический факультет	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____	
1.	
2.	
3.	
Составитель _____	/Ф.И.О. преподавателя/
	(подпись)
« ____ » _____	20 ____ г.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Физика горения»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного