

**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 химической и биологической физики**



**Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА И ХИМИЯ 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
5	72	32		16	2	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачетные единицы, из них: - контактная работа 52 часа										
Компетенции ПК-2										

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. Трудоемкость 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
5. Перечень учебной литературы.	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	10

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

Цель учебного курса «Физика и химия горения» – предоставить базовые знания о физических и химических явлениях, происходящих при горении и взрыве, о моделях и уравнениях для их описания, а также формирование у студентов навыков и умений, позволяющих анализировать эти явления и модели и выполнять необходимые расчеты.

Материал лекционного курса увязывается с передовыми исследованиями везде, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов. Уделяется особое внимание современным передовым методам изучения механизма и кинетики процессов горения на уровне элементарных реакций, например, применением молекулярно-пучковой масс-спектрометрии с фотоионизацией синхротронным излучением VUV-диапазона и др. В каждом случае специально отмечаются вопросы, активно обсуждаемые в современной профессиональной научной литературе. В начале каждого очередного занятия проводится проверка усвоения предыдущего материала в интерактивной форме – умение студентов сходу отвечать на вопросы (а также формулировать их), что развивает профессиональные навыки, которые будут незаменимы в дальнейшей профессиональной деятельности.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-2 Способность использовать специализированные знания в области физики при решении научных и практических задач в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p>ПК -2.2. Применяет теоретические основы и базовые представления научного исследования в выбранной области фундаментальной и/или экспериментальной физики в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК -2.3. Использует специализированные знания в области физики при выборе методов расчета, проведении статистического анализа экспериментальных данных в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные экспериментальные факты о процессах горения различных горючих веществ и систем; уравнения химической и физической кинетики, тепло и массопереноса применительно к явлениям горения и взрыва; методы анализа и решения уравнений и задач данной дисциплины; основные результаты и выводы теории горения, прогнозы для процессов горения перспективных горючих веществ.</p> <p>Уметь определить основные физические и химические явления, происходящие при горении и взрыве; производить оценки, приближённые расчёты основных характеристик процессов – достигаемых температур, зон термического горения, время зажигания, скоростей процессов и т. д.</p> <p>Владеть качественными основными методами анализа и решения задач физики горения и взрыва; определять пути применения полученных знаний для постановки и решения новых задач.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика и химия горения» реализуется для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика., направленность «Общая и фундаментальная физика». Курс относится к циклу профессиональных дисциплин, являющихся базовыми для студентов-физиков, специализирующихся на кафедре химической и биологической физики физического факультета Новосибирского Государственного Университета. При изучении курса студенты должны понимать, что основные законы и модели процессов горения и взрыва в значительной мере базируются на законах и принципах общезначимых и химических дисциплин, уже изученных ими ранее. Необходимыми предпосылками для успешного освоения курса являются следующие. В цикле математических дисциплин: знание математического анализа, линейной алгебры и методов математической физики и умение применять эти знания при решении задач. В цикле общезначимых дисциплин необходимыми предпосылками являются знание и умение применять основные принципы классической механики, молекулярной физики и физики сплошных сред, поскольку знание этих дисциплин необходимо при изучении теоретических методов, используемых для анализа моделей процессов горения и взрыва. Знание и понимание основных физических и химических явлений, а также моделей горения и взрыва необходимо при изучении других курсов (например, химической термодинамики, химической кинетики) цикла обучения студентов, специализирующихся в области химической и биологической физики и при прохождении научной практики в лабораториях институтов СО РАН.

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных 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
5	72	32		16	2	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачетных единицы, из них: - контактная работа 52 часа										
Компетенции ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, лабораторные занятия, задачи для самостоятельного решения, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: решение задач из задания для самостоятельного решения

Промежуточная аттестация: экзамен

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72** академических часа / **2** зачетные единицы:

- занятия лекционного типа – 32 часа;

- лабораторные занятия- 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 2 часа;
- самостоятельная работа, не включая период сессии (подготовка к экзамену, консультации, экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (лекции, лабораторные занятия, консультации, экзамен) составляет 52 часа.

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

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 во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	История изучения процессов горения и современное состояние исследований. Основные понятия теории горения	1	5	2	1	2	
2	Термодинамика процессов горения	2	3	2	1		
3	Химическая кинетика	3	3	2	1		
4.	Роль диффузии и теплопередачи в процессах горения	4	3	2	1		
5.	Основы и математическое описание теории горения	5	3	2	1		
6.	Теория распространения пламени в газах	6	3	2	1		
7.	Численное моделирование процессов горения	7	3	2	1		
8.	Экспериментальные методы изучения горения газовых пламен	8	3	2	1		
9.	Измерение нормальной скорости распространения пламен	9	3	2	1		
10.	Измерение структуры пламен – профили температуры и концентрации веществ в волне горения Измерения концентрации веществ в волне горения	10	3	2	1		
11.	Методы управления процессом горения - ингибирование и промотирование горения	11	3	2	1		
12.	Ламинарные диффузионные пламена	12	3	2	1		
13.	Образование вредных веществ при горении, методы уменьшения их выбросов	13	3	2	1		
14.	Горение конденсированных систем, экспериментальные методы исследования	14	3	2	1		

15.	Исследование кинетики термического разложения конденсированных веществ	15	3	2	1		
16.	Горение энергетических материалов	16	3	2	1		
	Групповая консультация		2				2
	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
	Экзамен		2				2
Всего			72	32	16	2	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

1. История изучения процессов горения и современное состояние исследований. Основные понятия теории горения. (2 часа)

Развитие представлений о горении, место процесса горения в развитии цивилизации. Модели горения. Классификация процессов горения. Процедуры разработки теоретической модели. Основные определения и соотношения, используемые в теории горения. Определение долей реактантов. Уравнение состояния для идеального газа. Закон сохранения масс. Понятие горючей смеси и горючей системы. Стехиометрический коэффициент горючей смеси.

2. Термодинамика процессов горения. (2 часа)

Расчет равновесных температур и состава продуктов горения. Расчет адиабатической температуры горения. Термодинамическое равновесие газовых смесей.

3. Химическая кинетика. (2 часа)

Основные определения. Закон скорости, порядок реакции. Элементарные химические реакции. Константы скорости элементарных реакций, определенные в рамках теории столкновений и теории переходного состояния. Мономолекулярные и бимолекулярные реакции. Кинетика сложных реакций: обратимые, параллельные и последовательные реакции. Метод квазистационарных концентраций. Сложные реакции, возникающие в результате нарушения равновесного распределения молекул по энергиям. Схема Линдемманна. Цепные реакции и их особенности.

4. Роль диффузии и теплопередачи в процессах горения. (2 часа)

Сведения из теории диффузии и теплопередачи. Законы Фурье и Фика. Дифференциальные уравнения теплопроводности и диффузии. Процессы передачи тепла и вещества при конвективном движении. Применение теории подобия для описания процессов диффузии и теплопередачи.

5. Основы и методы математической теории горения. (2 часа)

Нестационарное уравнение теплопроводности в среде с непрерывно распределенными источниками тепла. Подобие полей концентраций и поля температур. Метод разложения экспоненты. Самовоспламенение и зажигание. Теория теплового взрыва Семенова и Франк-Каменецкого. Стационарная и нестационарные теории теплового взрыва. Цепной взрыв. Критические явления в разветвленных цепных реакциях. Полуостров воспламенения.

6. Теория распространения пламени в газах. (2 часа)

Тепловые теории Малляра–Ле-Шателье и Зельдовича–Франк-Каменецкого. Теория цепного распространения пламени Зельдовича. Пределы распространения пламени. Поджигание пламени искрой.

7. Численное моделирование процессов горения. (2 часа)

Численные методы моделирования многокомпонентных реагирующих газовых потоков с применением многостадийных механизмов реакций и детальной кинетики для описания скорости распространения и структуры ламинарных пламен. Пакет программ CHEMKIN. Термодинамические базы данных. Граничные условия расчетных задач. Определение лимитирующих стадий процесса и характерных путей реакций. Анализ механизмов реакций. Анализ чувствительности. Анализ путей реакций. Математическое описание и моделирование диффузионных пламен на противотоках. Программа OPPDIF.

8. Экспериментальные методы изучения горения газовых пламен. (2 часа)

Типы горелок и пламен. Горелка Бунзена, Махе-Хебра, плоская горелка, сферическая горелка, горелка с противоположно направленными струями (горелка Поттера), «чашечная» горелка. Принцип стабилизации ламинарного пламени на горелке Бунзена. Одномерное пламя.

9. Измерение нормальной скорости распространения пламен. (2 часа)

Измерение скорости распространения пламени, метод бунзеновского пламени, теневой метод, метод Теплера (ширен-метод). Метод измерения треков микронных частиц. Particle image velocimetry (PIV). Метод мыльного пузыря. Метод бомбы постоянного объема. Измерение скорости свободного распространения пламени методом баланса потока тепла на поверхности горелки. Измерение скорости свободного распространения пламени методом двух пламен на встречных потоках. Измерение скорости пламени по разности давлений. Скорость распространения ламинарных перемешанных углеводородных и водородных пламен.

10. Измерение структуры пламен – профили температуры и концентрации веществ в волне горения. (2 часа)

Измерение температуры пламени. Методика термометрических исследований профилей температуры в пламени. Задача теплообмена в газовой фазе для П-образной термодомны. Причины погрешностей термометрических измерений. Применение оптических методов для измерения температуры в пламени. Метод обращения спектральных линий. Лазерно-индуцированная флуоресценция. КАРС-спектроскопия. Измерение профиля температуры в пламени с помощью пневматического зонда.

Методы измерения концентраций веществ в пламени. Масс-спектрометрический метод. Учет зондовых возмущений при измерениях химической и тепловой структуры пламени. Применение VUV-фотоионизации синхротронным излучением для изучения пламен. Спектроскопические методы: рамановская спектроскопия, лазерная индуцированная флуоресценция, когерентная антистоксова рамановская спектроскопия. Хроматография, хромато-масс-спектрометрия.

11. Методы управления процессом горения - ингибирование и промотирование горения. (2 часа)

Механизм ингибирования пламен добавками фосфорсодержащих соединений. Механизм деградации фосфорорганических соединений в пламени. Влияние фосфорсодержащих органических веществ на скорость распространения, структуру и концентрационные пределы распространения углеводородо- и водородо-воздушных пламен. Анализ механизма ингибирования горения. Минимальные огнетушащие концентрации пламегасителей. Промотирование горения водородных пламен.

12. Ламинарные диффузионные пламена. (2 часа)

Пламена с параллельными потоками. Задача Бурке-Шумана. Диффузионные пламена на противотоках горючего и окислителя. Диффузионное горение в перемешанной горючей смеси. Пламенные шары (“flame balls”).

13. Образование вредных веществ при горении, методы уменьшения их выбросов. (2 часа)

Образование NO при горении. Тепловой механизм (механизм Зельдовича), быстрый ("prompt") механизм, механизм образования NO из N₂O, механизм образования NO из топливного азота. Механизмы и методы уменьшения концентрации NO в продуктах горения: метод дожигания, механизм удаления NO вводом аммиака. Образование сажи в пламенах. Уничтожение токсичных фосфорорганических отходов сжиганием.

14. Горение конденсированных систем, экспериментальные методы исследования. (2 часа)

Модель Беляева – Зельдовича горения гомогенных конденсированных систем. Горение смесевых конденсированных систем. Модели горения конденсированных систем на молекулярном уровне. Методы измерения скорости горения конденсированных систем. Тензометрический метод. Температурные измерения в пламенах конденсированных систем. Спектроскопические методы исследования структуры пламен конденсированных систем. Зондовые масс-спектрометрические методы изучения структуры пламен конденсированных систем. Особенности метода масс-спектрометрического зондирования пламен конденсированных систем.

15. Исследование кинетики термического разложения конденсированных веществ как первичного этапа процесса их горения. (2 часа)

Методы изучения кинетики разложения конденсированных систем. Термогравиметрия, дифференциальная термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия. Кинетическая масс-спектрометрия.

16. Горение энергетических материалов. (2 часа)

Основные характеристики горения энергетических материалов. Результаты исследования химической структуры пламен энергетических материалов, кинетики и механизма химических реакций в их пламенах.

Программа лабораторных занятий (16 часов)

- 1. История изучения процессов горения и современное состояние исследований. Основные понятия теории горения. (1 час)**
- 2. Термодинамика процессов горения. (1 час)**
- 3. Химическая кинетика. (1 час)**
- 4. Роль диффузии и теплопередачи в процессах горения. (1 час)**
- 5. Основы и методы математической теории горения. (1 час)**
- 6. Теория распространения пламени в газах. (1 час)**
- 7. Численное моделирование процессов горения. (1 час)**
- 8. Экспериментальные методы изучения горения газовых пламен. (1 час)**
- 9. Измерение нормальной скорости распространения пламен. (1 час)**
- 10. Измерение структуры пламен – профили температуры и концентрации веществ в волне горения. (2 часа)**
- 11. Методы управления процессом горения - ингибирование и промотирование горения. (1 час)**
- 12. Ламинарные диффузионные пламена. (1 час)**
- 13. Образование вредных веществ при горении, методы уменьшения их выбросов. (1 час)**
- 14. Горение конденсированных систем, экспериментальные методы исследования. (1 час)**

15. Исследование кинетики термического разложения конденсированных веществ как первичного этапа процесса их горения. (1 час)

16. Горение энергетических материалов. (1 час)

Самостоятельная работа студентов (20 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	2 часа
Подготовка к экзамену	18 часов

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Коробейничев О.П. Физика и химия горения: Учебное пособие /Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 2011, 250 с.
2. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. «Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ». Москва. Физмат-лит. 2003.

5.2. Дополнительная литература

1. Франк-Каменецкий Д. А. «Диффузия и теплопередача в химической кинетике». М.: Наука, 1967, 1987.
2. Вильямс Ф. А. «Теория горения». М., Наука, 1976.

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Коробейничев О.П. Физика и химия горения: Учебное пособие /Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 2011, 250 с.
2. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. «Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ». Москва. Физмат-лит. 2003.

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 Физика и химия горения используются специальные помещения:

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

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;

3. Лаборатории;

4. Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

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.

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 по оценочной системе в виде: контрольных вопросов на знание материала предыдущей лекции. Оценка знаний, умений, навыков и освоения компетенций обучающимися в рамках текущего контроля может проводиться согласно шкале и критериям, представленным ниже.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-2 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики и химии горения в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию, по билетам, в устной форме. Билет состоит из двух вопросов и задачи.

Уровень сформированности компетенций оценивается преподавателем по пятибалльной шкале с учётом критериев (таблица 2) по результатам решения задачи, ответов на вопросы билета и на дополнительные уточняющие вопросы.

Для получения оценки «отлично» (продвинутый уровень освоения компетенций) необходимо развёрнуто ответить на оба вопроса и решить без ошибок задачу. Также надо ответить на дополнительные вопросы по всей дисциплине.

Для получения оценки «хорошо» (базовый уровень освоения компетенций) нужно ответить на оба вопроса билета и решить задачу. Допускается несколько несущественных ошибок. Необходимо также ответить на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.

Для получения оценки «удовлетворительно» (пороговый уровень освоения компетенций) необходимо ответить хотя бы на один вопрос в билете по теории и решить задачу, при решении задачи допускаются ошибки, не влияющие на общий способ предлагаемого решения. Необходимо также ответить на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для изученной дисциплины.

Оценка «неудовлетворительно» - уровень усвоения компетенций не сформирован.

Обучающийся, имеющий неудовлетворительные результаты при прохождении промежуточной аттестации, обязан ликвидировать академическую задолженность по дисциплине, согласно установленным факультетом срокам прохождения повторной промежуточной аттестации. Сроки проведения повторной промежуточной аттестации согласовываются с преподавателем и утверждаются распоряжением декана.

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 -2.2. Применяет теоретические основы и базовые представления научного исследования в выбранной области фундаментальной и/или экспериментальной физики в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные экспериментальные факты о процессах горения различных горючих веществ и систем; уравнения химической и физической кинетики, тепло и массопереноса применительно к явлениям горения и взрыва; методы анализа и решения уравнений и задач данной дисциплины; основные результаты и выводы теории горения, прогнозы для процессов горения перспективных горючих веществ.	Проведение контрольных работ, экзамен.

	Уметь определить основные физические и химические явления, происходящие при горении и взрыве; производить оценки, приближённые расчёты основных характеристик процессов – достигаемых температур, зон термического горения, время зажигания, скоростей процессов и т. д.	
ПК-2.3. Использует специализированные знания в области физики при выборе методов расчёта, проведении статистического анализа экспериментальных данных в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Владеть качественными основными методами анализа и решения задач физики горения и взрыва; определять пути применения полученных знаний для постановки и решения новых задач.	Проведение контрольных работ, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика и химия 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 2.2	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 2.2	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 2.3	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

Примеры некоторых типовых заданий для самостоятельного решения для проведения текущего контроля успеваемости обучающихся.

Примерные вопросы на экзамен

1. Теория теплового взрыва Семенова и Франк-Каменецкого. Стационарная и нестационарные теории теплового взрыва.
2. Цепной взрыв. Критические явления в разветвленных цепных реакциях. Полуостров воспламенения.
3. Тепловая теория распространения пламени в газах Малляра–Ле-Шателье, Зельдовича–Франк-Каменецкого.
4. Теория цепного распространения пламени Зельдовича.
5. Пределы распространения пламени. Поджигание пламени искрой.
6. Измерение скорости распространения пламени различными экспериментальными методами.
7. Методы измерения профилей температуры в пламени.
8. Методы измерения профилей концентраций веществ в пламени.
9. Методы управления процессом горения - ингибирование и промотирование горения с помощью химически активных соединений.
10. Ламинарные диффузионные пламена. Задача Бурке-Шумана.
11. Механизмы образования NO при горении и методы уменьшения концентрации NO в продуктах горения.
12. Образование сажи в пламени. Уничтожение токсичных отходов сжиганием.
13. Зондовые масс-спектрометрические методы изучения структуры пламен конденсированных систем.
14. Методы изучения кинетики разложения конденсированных систем.
15. Основные характеристики горения энергетических материалов.

ЗАДАЧА №1

В таблице приведены экспериментальные данные по зависимости высоты конусного пламени от давления для стехиометрической пропан-воздушной смеси, полученные на цилиндрической горелке радиуса 1 см. В горелку подавался пропан с расходом $Q_{C_3H_8} = 5 \cdot 10^{-2}$ л/сек, который перед поступлением в горелку смешивался с воздухом. Определить барический показатель скорости горения от давления и порядок химических реакций в пламени.

P (атм)	0.1	0.2	0.6	1.0
h (см)	4.53	5.39	7.52	8.91

ЗАДАЧА №2

Бесхлорный окислитель $N_4H_4O_4$ (динитрамид аммония) при высоком давлении горит с образованием продуктов горения H_2O , N_2 , N_2O , NO , при этом мольная доля N_2O в два раза больше N_2 (температура 1400 К). Определить дальнейшее повышение температуры, связанное с реакцией $N_2O \rightarrow N_2 + 0.5O_2$.

	H_2O	N_2O	NO	N_2	O_2
$C_p(1400K)$, кал*моль ⁻¹ *К ⁻¹	11.3	13.95	8.5	8.3	8.7
$H^\circ(1400K)$, ккал*моль ⁻¹	-47.3	33.1	30.4	8.3	8.3

ЗАДАЧА №3

Оценить повышение давления у поверхности стационарно горящего взрывчатого вещества при $P=1$ атм, если зависимость скорости горения от давления линейна: $u=b \times P$. Принять, что $T_{отход.газов}=2500$ К, $M_{ср}=30$, $\rho=1.5$ г/см³, $u_0=1$ см/сек. Оценить предельную стационарную скорость горения u_{max} для этих же условий.

Пример экзаменационного билета

<p><i>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</i></p> <p>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</p> <p>Физический факультет</p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1. Теория цепного распространения пламени Зельдовича (на компетенцию ПК-1). 2. Оценить повышение давления у поверхности стационарно горящего взрывчатого вещества при $P=1$ атм, если зависимость скорости горения от давления линейна: $u=b \times P$. Принять, что $T_{отход.газов}=2500$ К, $M_{ср}=30$, $\rho=1.5$ г/см³, $u_0=1$ см/сек. Оценить предельную стационарную скорость горения u_{max} для этих же условий (на компетенцию ПК-2).</p> <p>Составитель _____ / Шмаков А. Г./ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

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 и химия 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