

**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 сплошных сред**



Рабочая программа дисциплины

ТЕОРИЯ ДЕТОНАЦИИ-2

направление подготовки: **03.04.02 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
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы,
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

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.	3
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.	4
5. Перечень учебной литературы.	7
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.	8
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.

Дисциплина «Теория детонации-2» имеет своей целью обучение магистрантов теоретическим основам современной теории детонации. Основной целью освоения дисциплины является знание базовых понятий, результатов и методов теории детонации — фундаментальной науки, лежащих в основе современных технологий. Студенты должны знать особенности детонационных процессов, их отличие от горения, знать структуру детонационной волны и характерные значения термодинамических параметров для различных взрывчатых веществ и другие разделы теории детонации.

Цели курса – сформировать у студентов определенную систему знаний, навыков и умений в постановке и решении задач, связанных с использованием специализированных знаний в области физики для освоения профильных физических дисциплин и способность проводить научные экспериментальные исследования в избранной области - в части освоения результатов и методов современной теории детонации.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные уравнения теории детонации, структуру детонационной волны и значения характерных параметров при детонации для различных взрывчатых веществ. Уметь применять автоматический подход к процессам детонации и горения, пользоваться основными положениями и формулами теории детонации для решения задач. Владеть представлением о физическом механизме детонации и основными методами решения теоретических задач, возникающих в рамках теории детонации.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Теория детонации-2» является одной из дисциплин по выбору по направлению подготовки 03.04.02 Физика (профиль подготовки «Общая и фундаментальная физика»). Дисциплина «Теория детонации-2» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата. Студенты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны обладать предварительными знаниями основ общей физики, механики, термодинамики, физики сплошных сред, математического и функционального анализа, дифференциальных уравнений, векторного и тензорного анализа.

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.

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
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
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, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: решение задач из задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

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

Дисциплина «Теория детонации-2» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ в первом семестре.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Уравнения состояния продуктов взрыва конденсированных ВВ. Методы расчета параметров детонации и состава продуктов.	1	4	2		2	
2	Проблема устойчивости детонационных волн, результаты теории и расчетов.	2	4	2		2	
3	Избранные задачи теории горения..	3-4	4	4			
4	Ударные и детонационные адиабаты гетерогенных сред.	5	4	2		2	
5	Пузырьковая детонация.	6-7	4	4			
6	Гибридная детонация.	8-9	6	4		2	
7	Детонация в гетерогенных системах упорядоченной структуры.	10-11	6	4		2	
8	Инициирование детонации.	12-13	6	4		2	
9	Детонационное сгорание в энергетических установках.	14-15	6	4		2	
10	Электромагнитные явления при детонации.	16	6	2		4	
11.	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18
12	Консультации перед экзаменом		2				2
13	Экзамен		2				2
Всего			72	32		18	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Уравнения состояния продуктов взрыва конденсированных ВВ (2 часа).

Методы расчета параметров детонации и состава продуктов. Результаты экспериментальных измерений химика и параметров детонации в различных ВВ.

Проблема устойчивости детонационных волн, результаты теории и расчетов (2 часа).

Границы устойчивости, влияние кинетических и других параметров. Экспериментальные данные по неустойчивости детонационных волн в газах и в конденсированных ВВ. Стационарные и автоколебательные структуры фронта. Явление развития крупномасштабной неустойчивости и срыва детонации в зарядах большой длины.

Избранные задачи теории горения (4 часа).

Расчет скорости нормального горения газовой смеси и конденсированного ВВ. Зависимость скорости горения от давления и температуры. Горение частицы горючего в среде окислителя;

гомогенные и гетерогенные химические реакции, диффузионная и кинетическая области. Горение движущейся частицы, модель приведенной пленки. Особенности горения смесевых составов. Эрозионное и конвективное горение. Детонация и быстрое горение газов и двухфазных систем в загроможденном пространстве. Пределы и режимы распространения. Структура волны при разных скоростях, механизмы переноса воспламенения.

Ударные и детонационные адиабаты гетерогенных сред (2 часа).

Принцип аддитивности, границы его применимости. Законы сохранения и замыкающие гипотезы, разные случаи частично равновесных состояний продуктов. Влияние малосжимаемой добавки в односкоростной модели детонации.

Пузырьковая детонация (4 часа).

Отклонения от классического режима. Влияние вязкости. Структура детонационных волн в газовзвесах. Уравнения движения взаимопроникающих сред. Характерные времена ускорения, нагрева, испарения, горения конденсированных частиц за ударным скачком в газе. Механика дробления жидких капель. Особенности воспламенения и горения различных частиц (жидкие топлива, металлические, угольные и органические пыли). Внутренние взрывы и волны. Структура зоны реакции при различных соотношениях между временами релаксационных процессов.

Гибридная детонация (4 часа).

Псевдо-недожатые детонации. Двух-фронтные структуры. Структура детонационных волн в гетерогенных конденсированных ВВ. Релаксационные процессы во фронте волны. Особенности ударного сжатия пористой среды. Механизмы образования горячих точек. Условия воспламенения горячей точки. Макрокинетика выгорания в детонационной волне, гетерогенные и смешанные модели. Зависимость параметров детонации от размеров зерен ВВ, пористости, природы наполнителя. Влияние различных добавок. Случаи не единственности детонационного режима. Низкоскоростные детонации.

Детонация в гетерогенных системах упорядоченной структуры (4 часа).

Цепочки и "решетки" из дискретных зарядов. Система "газ-пленка". Заряды ВВ с продольными каналами, «канальный эффект". Двуслойная детонация. Особенности действия зарядов промышленных ВВ с осевым каналом. Механизмы инициирования реакции в детонационных волнах. Управление параметрами взрыва в гетерогенных системах за счет изменений состава и структуры заряда.

Инициирование детонации (4 часа).

Возбуждение детонации в различных взрывчатых средах ударной волной. Критическое давление инициирования, влияние длительности ударной волны. Задача об инициировании детонации сильным взрывом. Оценки и расчеты критической энергии в газах и газовзвесах. Выход детонации из узкого канала в объем, критический диаметр выхода. Переход горения в детонацию: экспериментальные данные и теоретические модели для газовых смесей, для газовзвесей, для конденсированных ВВ. Роль стенок и препятствий при ПГД.

Детонационное сгорание в энергетических установках (4 часа).

"Детонация" в двигателе внутреннего сгорания. Высокочастотная неустойчивость горения и возникновение детонации в ЖРД. Камеры детонационного сгорания с вращающейся волной. Импульс при детонации в открытой полости. Горение в сверхзвуковом потоке, аналогия с недожатой детонацией. ГПВРД с детонационным сгоранием. КПД рабочего цикла, использующего детонационное сгорание.

Электромагнитные явления при детонации (2 часа).

Электрическое поле ДВ. Электропроводность продуктов. Излучение ЭВМ. Детонационноподобные волны, поддерживаемые внешним энергоподводом: излучением лазера, электрическим полем.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельное решение заданий	18
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович [и др.]; под ред. К.П. Станюковича, Изд. 2-е, перераб. Москва : Наука, 1975 (7 экз.)
2. Дремин А.Н., Савров С.Д., Трофимов В.С., Шведов К.К. Детонационные волны в конденсированных средах. М., Наука, 1970.
3. Митрофанов В.В. Теория детонации. Учебное пособие. Новосибирск, НГУ, 1982.
4. Митрофанов В.В. Детонационные волны в конденсированных средах. Учебное пособие. Новосибирск, НГУ, 1988.

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

Не используются

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 используются аудитории, оборудованные всем необходимым для чтения лекций (доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор), в том

числе 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.

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 успеваемости

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе семестра путем проверки заданий, самостоятельно решаемыми магистрантами.

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.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию 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. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

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 решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные уравнения теории детонации, структуру детонационной волны и значения характерных параметров при детонации для различных взрывчатых веществ.	Самостоятельное решение задач, экзамен.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь применять автотемпальный подход к процессам детонации и горения, пользоваться основными положениями и формулами теории детонации для решения задач. Владеть представлением о физическом механизме детонации и основными методами решения теоретических задач, возникающих в рамках теории детонации.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Теория детонации-2».

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 1.2	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

Задания для самостоятельного решения

Задание 1

1. На какую максимальную высоту можно подбросить камень весом 1 т взрывом 1 г ВВ? Как это практически осуществить?
2. Назовите ориентировочно скорости и давления (можно оценить) детонации тротила, гексогена, нитроглицерина, нитрометана, аммонита, азида свинца. Каково влияние на эти параметры ρ_0 .
3. Приведите примеры взрывчатых систем, детонирующих со скоростью около 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6, 7, 8, 9 км/с, а также со скоростью более 10 км/с и менее 1 км/с.
4. Длинная медная трубка с внутренним диаметром 10 мм и наружным 15 мм заполнена гексогеном с плотностью 1 г/см³. Оцените скорость разлета осколков после детонации. Как выполнить расчет точнее? Сделайте то же самое для случая двух пластин со слоем ВВ между ними. Найдите постановку задачи, в которой Вы можете получить точное аналитическое решение.
5. Оцените максимальный диаметр “пузыря” после взрыва 1 кг ТНТ в воде на глубине 1 км.

Задание 2

1. Детонация распространяется в жесткой трубе от закрытого конца. Какая часть массы продуктов взрыва движется?
2. Детонационная волна падает нормально на границу с преградой. В терминах (p, u) -диаграммы сформулировать условие, когда не возникает отраженной волны.
3. Оценить скорость метания стальной частицы диаметром 1 мм газовой детонационной волной при $p_0 = 1$ атм, $\rho_0 = 10^{-3}$ г/см³, $D = 2000$ м/с. Частица первоначально располагается внутри трубы длиной $L = 1$ м вблизи ее открытого конца, детонация инициируется у закрытого торца. То же для заряда конденсированного ВВ при $\rho_0 = 1$ г/см³, $L = 5$ см, задний торец свободен. Рассмотрите случай обратного инициирования.
4. Оцените снижение скорости детонации стехиометрической газовой смеси метана с воздухом ($D_0 = 1.8$ км/с, $a = 0.3$ м) после входа в завесу из песка ($\delta = 0.5$ мм, $\rho_k = 2.6$ г/см³) с объемной концентрацией частиц $\alpha_k = 0.01$.
5. Сформулируйте постановку задачи о расчете разогрева, конденсированного ВВ в окрестности поры, сжимающейся под воздействием ударной волны.

Список вопросов, выносимых на экзамен

1. Уравнения состояния продуктов взрыва конденсированных ВВ.

2. Проблема устойчивости детонационных волн, результаты теории и расчетов.
3. Расчет скорости нормального горения газовой смеси и конденсированного ВВ.
4. Зависимость скорости горения от давления и температуры.
5. Принцип аддитивности, границы его применимости.
6. Пузырьковая детонация. Отклонения от классического режима. Влияние вязкости.
7. Структура детонационных волн в газозвесах.
8. Уравнения движения взаимопроникающих сред.
9. Механика дробления жидких капель.
10. Гибридная детонация.
11. Псевдо-недожатые детонации. Двух-фронтные структуры.
12. Особенности ударного сжатия пористой среды.

1. Методы расчета параметров детонации и состава продуктов.
2. Границы устойчивости ДВ, влияние кинетических и других параметров.
3. Особенности горения смесевых составов.
4. Эрозионное и конвективное горение.
5. Ударные и детонационные адиабаты гетерогенных сред.
6. Влияние малосжимаемой добавки в односкоростной модели детонации.
7. Структура детонационных волн в гетерогенных конденсированных ВВ.
8. Релаксационные процессы во фронте волны.
9. Особенности ударного сжатия пористой среды.
10. Механизмы образования горячих точек. Условия воспламенения горячей точки.
11. Детонация в гетерогенных системах упорядоченной структуры.
12. Возбуждение детонации в различных взрывчатых средах ударной волной.

Пример экзаменационного билета

1. Особенности ударного сжатия пористой среды.
2. Возбуждение детонации в различных взрывчатых средах ударной волной.

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
по дисциплине «Теория детонации-2»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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