

**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**

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
8	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.

Цыбуля С. В.

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 .....	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. ....	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	9

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

Дисциплина «Теория детонации» имеет своей целью усвоение студентами основ 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, необходимые для освоения теоретических основ физических курсов, читаемых на кафедре физики сплошных сред.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> 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><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p><b>ПК 1.3</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Знать</b> основные уравнения теории детонации, структуру детонационной волны и значения характерных параметров при детонации для различных взрывчатых веществ.</p> <p><b>Уметь</b> применять автомодельный подход к процессам детонации и горения, пользоваться основными положениями и формулами теории детонации для решения задач.</p> <p><b>Владеть</b> основными методами решения теоретических задач, возникающих в рамках теории детонации, представлением о физическом механизме детонации.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Теория детонации» реализуется в весеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики сплошных сред. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётных единицы, 72 академических часа.

Для успешного освоения курса «Теория детонации» студенты должны обладать предварительными знаниями основ дифференциальных уравнений, гидродинамики и физики сплошных сред.

### 3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем

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
8	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 проверки заданий, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: проверка заданий 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.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, 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 «Теория детонации» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-ом курсе физического факультета НГУ в весеннем 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 трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практиче- ские занятия		
1.	Основные понятия. Кинетика химических реакций в гомогенной среде. Процессы горения.	1-2	10	4		6	
2.	Теория экзотермического скачка. Уравнения состояния продуктов взрыва.	3-4	10	4		6	
3.	Автомодельные течения при детонации и горении. Структура плоской детонационной волны в гомогенном ВВ. Неидеальные режимы и пределы детонации.	5-7	10	6		4	
4.	УРС ПД ВВ. Термодинамические параметры, измерения, расчеты.	8-9	10	4		6	
5.	Горение. Ударные и детонационные адиа-баты гетерогенных сред.	10-11	10	4		6	
6.	Структура детонационной волны в различных средах.	12-13	8	4		4	
7.	Инициирование детонации. Электромагнитные явления при детонации.	14-16	12	6		6	
8.	Дифференцированный зачет	17	2				2
<b>Всего</b>			<b>72</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>38</b>	<b>2</b>

### Программа и основное содержание лекций (32 часа)

#### Основные понятия теории детонации (4 часа)

Экзотермические процессы. Горение и взрыв, детонация (основные опытные факты). Взрывчатые вещества: индивидуальные и смесевые, гомогенные и гетерогенные. Теплоты химического превращения и образования веществ. Теплота взрыва. Критический диаметр и пределы детонации. Предельный диаметр, идеальная детонация. Способы возбуждения взрыва, чувствительность ВВ. Первичные и вторичные ВВ, пороха. Кинетика химических реакций в гомогенной среде. Скорость элементарных реакций. Энергия активации. Величина предэкспонента. Порядок реакций. Тепловой взрыв. Простые и разветвленные цепные реакции. Цепной взрыв. Состав продуктов и термодинамические параметры в состоянии химического равновесия. Особенности химических превращений в гетерогенных системах. Процессы горения. Структура ламинарного пламени в газе и гомогенном ВВ. Оценки толщины пламени и скорости нормального горения. Турбулентное пламя. Зажигание и самовоспламенение. Оценка энергии зажигания. Фронт спонтанного воспламенения.

#### Уравнения состояния продуктов взрыва (4 часа)

Предположения о свойствах среды. Соотношения на скачке. Кривые Гюгонио (КГ) для экзотермического скачка с равновесным и замороженным составом продуктов. Детонационная и дефлаграционная ветви КГ, их положение относительно ударной адиабаты. Экстремумы энтропии на КГ. Изменение числа Маха вдоль КГ. Проблема отбора скорости самоподдерживающейся детонации. Гипотеза Чепмена-Жуге. Условия осуществления пересжатого режима детонации. Уравнения состояния продуктов взрыва и расчет параметров за фронтом. Формулы для волны Чепмена-Жуге при постоянном изоэнтропическом показателе продуктов. Связь скоростей детонации и дефлаграции Чепмена-Жуге. Влияние коволюма на параметры ДВ.

### **Автомодельные течения при детонации и горении (6 часов)**

Автомодельные течения, вызванные детонацией и горением с нулевой зоной. Одномерные течения после возникновения детонации и горения на торце заряда. Инициирование детонации плоским ударником из сжимаемого материала. Течение после выхода детонационного фронта на границу с другой средой (случай нормального падения), максимальная скорость разлета. Отражение ДВ от жесткой стенки. Фронт горения с вынужденной скоростью (при разных  $D$ ) и вызванные им течения. Задача о распаде разрыва в горючей смеси (с волной реакции). Течение, вызванное сферическим пламенем. Течение за фронтом цилиндрической и сферической детонации. Неустойчивость одномерного течения и автоколебательные структуры фронта детонации в газах. Поперечная волна и ее взаимодействие с передним ударным скачком. Детонационный спин. Ячеистые структуры. Влияние неоднородности фронта на усредненную кинетику выгорания и параметры ДВ, эффективная ширина фронта. Режимы детонации у пределов. Галопирующая и низкоскоростная детонации. "Динамические параметры" и приблизительное подобие явлений газовой детонации в разных смесях, фундаментальная роль размера ячейки. Детонационные волны с ячеистым фронтом в конденсированных ВВ.

### **Термодинамические параметры, измерения, расчеты (4 часа)**

Уравнения состояния продуктов взрыва конденсированных ВВ. Методы расчета параметров детонации и состава продуктов. Результаты экспериментальных измерений химпика и параметров детонации в различных ВВ. Проблема устойчивости детонационных волн, результаты теории и расчетов. 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.

### **Горение (4 часа)**

Избранные задачи теории горения. 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.

### **Структура детонационной волны (4 часа)**

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. Псевдо-недосжатые 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. 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 (6 часов)**

Инициирование детонации. 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. "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 недосжатой детонацией. ГПВРД с детонационным сгоранием. КПД рабочего цикла, использующего детонационное сгорание.

### **Самостоятельная работа студентов (38 часов)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение, повторение теоретического материала лекций в течении семестра	14
Самостоятельное решение заданий	24

## **5. Перечень учебной литературы.**

### **5.1. Основная литература**

1. Митрофанов В.В. Детонационные волны в конденсированных средах. Учебное пособие. Новосибирск, НГУ, 1988.

### **5.2. Дополнительная литература**

1. Зельдович Я.Б., Компанеев А.С. Теория детонации. М., Гостехиздат, 1955.
2. Дремин А.Н., Савров С.Д., Трофимов В.С., Шведов К.К. Детонационные волны в конденсированных средах. М., Наука, 1970.
3. Физика взрыва. Под ред. К.П. Станюковича. М., Наука, 1975.
4. Войцеховский Б.В., Митрофанов В.В., Топчийн М.Е. Структура фронта детонации в газах. Новосибирск, Наука, 1963.

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

1. Митрофанов В.В. Детонационные волны в конденсированных средах. Учебное пособие. Новосибирск, НГУ, 1988.

## **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.

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: проверка заданий для самостоятельного решения.

#### *Промежуточная аттестация*

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачете. По итогам завершения курса проводится дифференцированный зачет 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
<b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	<b>Знать</b> основные уравнения теории детонации, структуру детонационной волны и значения характерных параметров при детонации для различных взрывчатых веществ.	Проведение опроса, дифференцированный зачет.
<b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	<b>Уметь</b> применять автотельный подход к процессам детонации и горения, пользоваться основными положениями и формулами теории детонации для решения задач.	Проведение опроса, дифференцированный зачет.
<b>ПК 1.3</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Владеть</b> основными методами решения теоретических задач, возникающих в рамках теории детонации, представлением о физическом механизме детонации.	Проведение опроса, дифференцированный зачет.

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

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 Задания для самостоятельного решения

#### Задание 1

(сдать с 16 по 21 марта или раньше)

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  $\rho_0$ .
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/см<sup>3</sup>. 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

(сдать с 10 по 17 мая или раньше)

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/см<sup>3</sup>,  $D = 2000$  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/см<sup>3</sup>,  $L = 5$  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/см<sup>3</sup>) с объемной концентрацией частиц  $\alpha_k = 0.01$ .

## Вопросы для дифференцированного зачёта

1. Экзотермические процессы. Горение и взрыв, детонация (основные опытные факты).
2. Теплоты химического превращения и образования веществ. Теплота взрыва.
3. Предельный диаметр, идеальная детонация.
4. Кинетика химических реакций в гомогенной среде. Скорость элементарных реакций.
5. Простые и разветвленные цепные реакции. Цепной взрыв. Состав продуктов и термодинамические параметры в состоянии химического равновесия.
6. Процессы горения. Структура ламинарного пламени в газе и гомогенном ВВ.
7. Гипотеза Чепмена-Жуге. Условия осуществления пересжатого режима детонации.
8. Уравнения состояния продуктов взрыва и расчет параметров за фронтом.
9. Формулы для волны Чепмена-Жуге при постоянном изоэнтропическом показателе продуктов.
10. ДВ от жесткой стенки. Фронт горения с вынужденной скоростью (при разных  $D$ ) и вызванные им течения.
11. Задача о распаде разрыва в горючей смеси (с волной реакции). Течение, вызванное сферическим пламенем.
12. Течение за фронтом цилиндрической и сферической детонации.
13. Обоснование правила Чепмена-Жуге. Условия осуществления недосжатого режима.
14. Ширина и форма "химпика" в газах и в конденсированных ВВ.
15. Поперечная волна и ее взаимодействие с передним ударным скачком.
16. Детонационный спин. Ячеистые структуры.
17. Галопирующая и низкоскоростная детонации.
18. Детонационные волны с ячеистым фронтом в конденсированных ВВ.

- 
1. Взрывчатые вещества: индивидуальные и смесевые, гомогенные и гетерогенные.
  2. Способы возбуждения взрыва, чувствительность ВВ. Первичные и вторичные ВВ, пороха.
  3. Энергия активации. Величина предэкспонента. Порядок реакций. Тепловой взрыв.
  4. Особенности химических превращений в гетерогенных системах.
  5. Теория экзотермического скачка. Предположения о свойствах среды.
  6. Соотношения на скачке. Кривые Гюгио (КГ) для экзотермического скачка с равновесным и замороженным составом продуктов.
  7. Детонационная и дефлаграционная ветви КГ, их положение относительно ударной адиабаты.
  8. Экстремумы энтропии на КГ. Изменение числа Маха вдоль КГ.
  9. Проблема отбора скорости самоподдерживающейся детонации.
  10. Связь скоростей детонации и дефлаграции Чепмена-Жуге. Влияние коволюма на параметры ДВ.
  11. Структура плоской детонационной волны в гомогенном ВВ.
  12. Модель Гриба-Зельдовича (ЗНД модель).
  13. Виды и параметры опасных воздействий взрыва. Критерии фугасного разрушающего действия.
  14. Геометрические и концентрационные пределы детонации газовых смесей.
  15. Параметры детонационной опасности. Ряд детонационной опасности газов.

## Пример билета дифференцированного зачета

1. Формулы для волны Чепмена-Жуге при постоянном изоэнтропическом показателе продуктов.
2. Геометрические и концентрационные пределы детонации газовых смесей.

Форма билета к зачету представлена на рисунке

<p><b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b></p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p><b>Физический факультет</b></p>
<p><b>БИЛЕТ № _____</b></p> <p>1. .... 2. ....</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (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 «Теория детонации»  
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