

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Механика жидкости и газа
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 135 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составили:

С.Т. Суржиков, д-р физ.-мат. наук, профессор

С.Е. Якуш, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физической и химической механики 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Механика жидкости и газа" предусматривает изучение фундаментальных основ механики сплошных сред (МСС), основанных на феноменологических уравнениях классической механики сплошных сред, а также современных тенденций развития этой теории с целью учета реальных свойств газов и жидкостей, в первую очередь - процессов тепломассообмена в газах при высоких скоростях движения и особенностей горения в движущихся газах.

Задачи курса:

- приобретение теоретических знаний в области физических основ механики сплошных сред;
- изучение способов получения уравнений механики сплошных сред с использованием феноменологического подхода;
- приобретение практических навыков решения типовых задач механики сплошных сред;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области МСС;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения явлений физической и химической механики (газовые разряды, физика ударных волн, релаксационные процессы в физико-химической механике, горение и взрыв).

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Основные понятия феноменологической теории сплошных сред
2. Идеальная жидкость и ее движение. Уравнение неразрывности. Уравнение Эйлера
3. Поток энергии в жидкости
4. Поток импульса в жидкости
5. Сохранение циркуляции скорости
6. Уравнения движения несжимаемой жидкости
7. Элементы теории упругости. Тензор деформации
8. Тензор напряжений. Уравнения равновесия деформированного тела
9. Энергетические характеристики деформации. Закон Гука
10. Уравнения движения вязкой жидкости
11. Математическое описание механики газовых смесей. Калорическое и термическое уравнения состояния сплошной среды
12. Уравнения неразрывности для отдельных компонент газовых течений
13. Уравнение сохранения энергии в механике сплошных сред
14. Полная система уравнений движения вязкой, теплопроводной, химически реагирующей газовой смеси
15. Особенности движения сжимаемых сред
16. Многокомпонентная химически реагирующая газовая смесь. Уравнения баланса
17. Термическое и калорическое уравнения состояния для сжимаемых сред. Совершенный газ с постоянными теплоемкостями
18. Совершенный двухатомный газ с релаксацией колебательной энергии
19. Химически реагирующая смесь идеальных газов
20. Теория звука. Дисперсия и поглощение звука в релаксирующей среде
21. Инварианты Римана. Простая волна. Нестационарные движения совершенного газа.
22. Теория ударных волн. Адиабата Гюгонио
23. Ударные волны в газе с релаксацией
24. Нестационарные течения с ударными волнами. Распад произвольного разрыва
25. Задача о сильном взрыве
26. Адиабатическое движение совершенного газа
27. Одномерная теория сопла Лаваля
28. Сверхзвуковые течения
29. Стационарные течения газа с ударными волнами, теплопроводной, химически реагирующей газовой смеси газов

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение фундаментальных основ механики сплошных сред (МСС), основанных на феноменологических уравнениях классической механики сплошных сред, а также современных тенденций развития этой теории с целью учета реальных свойств газов и жидкостей, в первую очередь - процессов тепломассообмена в газах при высоких скоростях движения и особенностей горения в движущихся газах.

### Задачи дисциплины

- приобретение теоретических знаний в области физических основ механики сплошных сред;
- изучение способов получения уравнений механики сплошных сред с использованием феноменологического подхода;
- приобретение практических навыков решения типовых задач механики сплошных сред;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области МСС;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения явлений физической и химической механики (газовые разряды, физика ударных волн, релаксационные процессы в физико-химической механике, горение и взрыв).

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;  
 порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;  
 современные проблемы физики, химии, математики;  
 методы механики сплошных сред, разработанные на базе феноменологического подхода.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;  
 пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;  
 делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  
 производить численные оценки по порядку величины;  
 делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  
 осваивать новые предметные области, теоретические подходы и методы компьютерной физики;  
 получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;  
 работать на современных компьютерах и суперкомпьютерах;  
 эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
 навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;  
 культурой постановки и моделирования физических задач;  
 навыками грамотной обработки результатов численного моделирования и сопоставления с теоретическими данными;  
 практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

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

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основные понятия феноменологической теории сплошных сред.	1	1		1
2	Идеальная жидкость и ее движение. Уравнение неразрывности. Уравнение Эйлера.	1	1		1
3	Поток энергии в жидкости.	1	1		1
4	Поток импульса в жидкости.	1	1		1
5	Сохранение циркуляции скорости.	1	1		1
6	Уравнения движения несжимаемой жидкости.	1	1		1
7	Элементы теории упругости. Тензор деформации.	1	1		10
8	Тензор напряжений. Уравнения равновесия деформированного тела.	1	1		10
9	Энергетические характеристики деформации. Закон Гука.	1	1		10
10	Уравнения движения вязкой жидкости.	1	1		6
11	Математическое описание механики газовых смесей. Калорическое и термическое уравнения состояния сплошной среды.	1	1		8
12	Уравнения неразрывности для отдельных компонент газовых течений.	1	1		8
13	Уравнение сохранения энергии в механике сплошных сред.	1	1		2
14	Полная система уравнений движения вязкой, теплопроводной, химически реагирующей газовой смеси.	2	2		
15	Особенности движения сжимаемых сред.	1	1		4
16	Многокомпонентная химически реагирующая газовая смесь. Уравнения баланса.	1	1		1
17	Термическое и калорическое уравнения состояния для сжимаемых сред. Совершенный газ с постоянными теплоемкостями.	1	1		1

18	Совершенный двухатомный газ с релаксацией колебательной энергии.	1	1		10
19	Химически реагирующая смесь идеальных газов.	1	1		1
20	Теория звука. Дисперсия и поглощение звука в релаксирующей среде.	1	1		10
21	Инварианты Римана. Простая волна. Нестационарные движения совершенного газа.	1	1		1
22	Теория ударных волн. Адиабата Гюгонио.	1	1		10
23	Ударные волны в газе с релаксацией.	1	1		1
24	Нестационарные течения с ударными волнами. Распад произвольного разрыва.	1	1		1
25	Задача о сильном взрыве.	1	1		7
26	Адиабатическое движение совершенного газа.	1	1		10
27	Одномерная теория сопла Лавалья.	1	1		7
28	Сверхзвуковые течения.	1	1		8
29	Стационарные течения газа с ударными волнами, теплопроводной, химически реагирующей газовой смеси газов.	1	1		3
Итого часов		30	30		135
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Основные понятия феноменологической теории сплошных сред.

Введение основных понятий феноменологической теории механики сплошных сред (МСС). Связь с молекулярно-кинетической теорией МСС. О выводе уравнений МСС из уравнения Больцмана.

##### 2. Идеальная жидкость и ее движение. Уравнение неразрывности. Уравнение Эйлера.

Феноменологический вывод уравнения неразрывности. Вывод уравнения Эйлера. Следствия из уравнения Эйлера. Гидростатика. Равновесие массивной (гравитирующей) звезды. Стационарное движение жидкости. Уравнение Бернулли.

##### 3. Поток энергии в жидкости.

Полная и внутренняя энергия. Термодинамическое тождество. Изменение энергии единицы объема за единицу времени. Уравнение Умова. Вектор плотности потока энергии.

##### 4. Поток импульса в жидкости.

Тензор плотности потока импульса. Интегральный закон сохранения компонент импульса по координатным осям (проекции тензора плотности потока импульса).

##### 5. Сохранение циркуляции скорости.

Теорема Томсона. Потенциальное (безвихревое) движение жидкости. Свойства потенциального движения жидкости. I-й интеграл уравнений потенциального движения.

#### 6. Уравнения движения несжимаемой жидкости.

Уравнение Бернулли для несжимаемой жидкости. Запись системы уравнений движения несжимаемой жидкости в естественных (скорость – давление) и динамических переменных (скорость – вихрь скорости). Уравнение Бернулли для потенциального движения несжимаемой жидкости.

#### 7. Элементы теории упругости. Тензор деформации.

Вектор деформации. Деформация малых участков тела в декартовой системе координат. Симметричность тензора деформации второго рода. Приведение тензора деформации к главным осям. Относительное удлинение. Изменение объема при деформации.

#### 8. Тензор напряжений. Уравнения равновесия деформированного тела.

Сила, действующая на элементарную площадку в теле. Момент сил, действующих на выделенный объем. Симметричность тензора напряжений. Уравнения равновесия деформированного тела.

#### 9. Энергетические характеристики деформации. Закон Гука.

Элементарная работа деформации тела. Работа изменения тензора деформации. Упругие и пластические деформации. Энергетические соотношения изменения тензора деформации. Деформации сдвига и всестороннего сжатия. Закон Гука.

#### 10. Уравнения движения вязкой жидкости.

Феноменологический вывод уравнений Навье-Стокса. Кинематический и динамический коэффициенты вязкости. Использование закона Гука при выводе уравнений Навье-Стокса.

#### 11. Математическое описание механики газовых смесей. Калорическое и термическое уравнения состояния сплошной среды.

Числовые, массовые и молярные концентрации компонент смеси газов. Закон Дальтона. Закон Авогадро. Молекулярный вес смеси газов. Соотношения между разными типами концентраций. Число молей вещества в единице объема.

#### 12. Уравнения неразрывности для отдельных компонент газовых течений.

Феноменологический вывод уравнения неразрывности для отдельного компонента смеси газов. Вектор плотности потока массы компоненты. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Начальные сведения из химической кинетики. Массовая скорость исчезновения (возникновения) компоненты газового течения.

#### 13. Уравнение сохранения энергии в механике сплошных сред.

Приближение Борна-Оппенгеймера (приближение адиабатичности) о разделении полной внутренней энергии на составляющие: энергию поступательного, вращательного, колебательного и электронного форм движения. Феноменологическая формулировка закона сохранения энергии для полной энергии.

#### 14. Полная система уравнений движения вязкой, теплопроводной, химически реагирующей газовой смеси.

Формулировка полной системы уравнений движения вязкой, теплопроводной, химически реагирующей газовой смеси газов: уравнения неразрывности, система уравнений Навье-Стокса, система уравнений неразрывности для отдельных компонент, система уравнений сохранения полной энергии и уравнения сохранения энергии отдельных видов движения. Краевые условия сформулированной системы уравнений.

Семестр: 8 (Весенний)

15. Особенности движения сжимаемых сред.

Свойство сжимаемости. Роль скорости звука. Нелинейные волны. Приложения газовой динамики.

16. Многокомпонентная химически реагирующая газовая смесь. Уравнения баланса.

Уравнение сохранения компоненты газового течения. Уравнение неразрывности смеси. Уравнение притока тепла. Понятие энтропии. Уравнение производства энтропии.

17. Термическое и калорическое уравнения состояния для сжимаемых сред. Совершенный газ с постоянными теплоемкостями.

Гипотеза о локальном термодинамическом равновесии. Общая связь между энтропией, внутренней энергией, плотностью и концентрациями.. Соотношение Гиббса.

18. Совершенный двухатомный газ с релаксацией колебательной энергии.

Закон (гипотеза) равнораспределения энергии. Квантовый гармонический осциллятор. Колебательная и вращательная энергия. Полная система уравнений движения невязкого однородного двухатомного газа с колебательной релаксацией.

19. Химически реагирующая смесь идеальных газов.

Классическая теория абсолютных скоростей химических реакций. Идеально диссоциирующий газ.

20. Теория звука. Дисперсия и поглощение звука в релаксирующей среде.

Звук в газе без релаксации. Решение Даламбера. Уравнение распространения малых возмущений. Дисперсионное соотношение. Дисперсия и поглощение.

21. Инварианты Римана. Простая волна. Нестационарные движения совершенного газа.

Характеристики. Инварианты Римана. Изэнтропическое течение. Течение типа простой волны. Задача о поршне. Центрированная волна разряжения. Опрокидывание простой волны сжатия.

22. Теория ударных волн. Адиабата Гюгонио.

Соотношения на сильном разрыве. Контактный разрыв. Ударная волна. Адиабата Гюгонио. Слабые ударные волны. Сильные ударные волны.

23. Ударные волны в газе с релаксацией.

Ударные волны с частичной дисперсией. Структура зоны релаксации. Элементарное решение. Ударные волны с полной дисперсией.

24. Нестационарные течения с ударными волнами. Распад произвольного разрыва.

Задача о поршне,двигающемся в газ. Распад произвольного разрыва. Простейшая модель течения в ударной трубе.

25. Задача о сильном взрыве.

Автомодельность. Распределения параметров по радиусу при сферическом сильном взрыве. Решение Седова.

26. Адиабатическое движение совершенного газа.

Общие интегралы движения однородного сжимаемого газа. Интеграл Бернулли. Изменения параметров вдоль линии тока. Параметры торможения. Максимальная скорость. Скорость звука. Число Маха. Основные газодинамические функции.

27. Одномерная теория сопла Лавалья.

Течение в трубке тока. Уравнение обращения воздействия. Переход через скорость звука. Сопло Лавалья. Течение релаксирующего газа. Замороженная скорость звука. Расчетный и нерасчетный режимы течения.

28. Сверхзвуковые течения.

Линии Маха и их свойства. Случаи потенциального течения. Эпициклоиды. Течение газа типа простой волны. Задачи обтекания сверхзвуковым потоком.

29. Стационарные течения газа с ударными волнами, теплопроводной, химически реагирующей газовой смеси газов.

Сверхзвуковое обтекание затупленных тел с отошедшей ударной волной. Принцип независимости от числа Маха. Метод прямых. Метод установления. Формула Ньютона. Формула Рэлея. Формула Буземана.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Райзер Ю.П. Введение в гидрогазодинамику и теорию ударных волн для физиков. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 429 с.
2. Нигматулин Р.И. Механика сплошной среды. Изд-во: ГЭОТАР-Медиа. 2014. 639 с.
3. Липанов А.М. Теоретическая механика ньютоновских сред. М.: Наука. 2011. 551 с.
4. Лунев В.В. Течение реальных газов с большими скоростями. М.: Физматлит. 2007. 759 с.
5. Суржиков С.Т. Радиационная газовая динамика спускаемых космических аппаратов. Многотемпературные модели. М.: ИПМех РАН, 2013. 705 с.

### **Дополнительная литература**

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд-е 6е, перераб. М.: Наука. Физматлит. 1978. 840 с.
2. Стулов В.П. Лекции по газовой динамике. М.: Физматлит. 2004. 191 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**



Не используются

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

не предусмотрены.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

**Разработчики:**

С.Т. Суржиков, д-р физ.-мат. наук, профессор

С.Е. Якуш, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Механика жидкости и газа» обучающийся должен:

### знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;  
порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;  
современные проблемы физики, химии, математики;  
методы механики сплошных сред, разработанные на базе феноменологического подхода.

### уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;  
пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;  
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  
производить численные оценки по порядку величины;  
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  
осваивать новые предметные области, теоретические подходы и методы компьютерной физики;  
получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;  
работать на современных компьютерах и суперкомпьютерах;  
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;  
культурой постановки и моделирования физических задач;  
навыками грамотной обработки результатов численного моделирования и сопоставления с теоретическими данными;  
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Для чего нужна кинетическая теория в механике сплошных сред

2. Феноменологический подход к формулировке уравнений механики сплошных сред
3. Идеальный газ (жидкость)
4. Вектор потока массы
5. Векторы потока импульса
6. Вектор потока энергии
7. Вектор потока массы. Величины, характеризующие газовые смеси
8. Векторы потока импульса. Величины, характеризующие газовые смеси
9. Вектор потока энергии. Величины, характеризующие газовые смеси
10. Вывод уравнения неразрывности
11. Формулировка уравнения Эйлера
12. Формулировка уравнений Навье-Стокса
13. Уравнение Эйлера, сформулированное относительно энтальпии
14. Уравнение Эйлера, зависящее только от скорости
15. Гидростатика
16. Условие равновесия самогравитирующей звезды
17. Уравнение Бернулли для стационарного движения жидкости
18. Сохранение циркуляции скорости в идеальной жидкости
19. I-й интеграл уравнений потенциальной жидкости
20. Теорема Томсона
21. Свойства потенциального движения жидкости
22. Уравнение Бернулли для несжимаемой жидкости
23. Уравнение Бернулли для потенциального движения несжимаемой жидкости
24. Вектор деформации
25. Тензор деформации
26. Относительное удлинение
27. Изменение объема при деформации
28. Тензор напряжений
29. Момент сил, действующих на выделенный элементарный объем
30. Уравнение равновесия деформируемого тела
31. Работа по изменению тензора деформации
32. Закон Гука
33. Приближение Борна-Оппенгеймера
34. Уравнение сохранения полной энергии
35. Алгоритм формулировки уравнений сохранения отдельных видов энергии

Вопросы к экзамену:

1. Свойство сжимаемости. Роль скорости звука. Нелинейные волны. Приложения газовой динамики.
2. Уравнение сохранения компоненты газового течения. Уравнение неразрывности смеси. Уравнение притока тепла. Понятие энтропии. Уравнение производства энтропии.
3. Гипотеза о локальном термодинамическом равновесии. Общая связь между энтропией, внутренней энергией, плотностью и концентрациями.. Соотношение Гиббса.
4. Закон (гипотеза) равнораспределения энергии. Квантовый гармонический осциллятор. Колебательная и вращательная энергия. Полная система уравнений движения невязкого однородного двухатомного газа с колебательной релаксацией.
5. Классическая теория абсолютных скоростей химических реакций. Идеально диссоциирующий газ.
6. Звук в газе без релаксации. Решение Даламбера. Уравнение распространения малых возмущений. Дисперсионное соотношение. Дисперсия и поглощение.
7. Характеристики. Инварианты Римана. Изэнтропическое течение. Течение типа простой волны. Задача о поршне. Центрированная волна разряжения. Опрокидывание простой волны сжатия.
8. Соотношения на сильном разрыве. Контактный разрыв. Ударная волна. Адиабата Гюгонио. Слабые ударные волны. Сильные ударные волны.

9. Ударные волны с частичной дисперсией. Структура зоны релаксации. Элементарное решение. Ударные волны с полной дисперсией.
10. Задача о поршне, вдвигающемся в газ. Распад произвольного разрыва. Простейшая модель течения в ударной трубе.
11. Автомодельность. Распределения параметров по радиусу при сферическом сильном взрыве. Решение Седова.
12. Общие интегралы движения однородного сжимаемого газа. Интеграл Бернулли. Изменения параметров вдоль линии тока. Параметры торможения. Максимальная скорость. Скорость звука. Число Маха. Основные газодинамические функции.
13. Течение в трубке тока. Уравнение обращения воздействия. Переход через скорость звука. Сопло Лаваля. Течение релаксирующего газа. Замороженная скорость звука. Расчетный и нерасчетный режимы течения.
14. Линии Маха и их свойства. Случаи потенциального течения. Эпициклоиды. Течение газа типа простой волны. Задачи обтекания сверхзвуковым потоком.
15. Сверхзвуковое обтекание затупленных тел с отошедшей ударной волной. Принцип независимости от числа Маха. Метод прямых. Метод установления. Формула Ньютона. Формула Рэлея. Формула Буземана.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Течение в трубке тока. Уравнение обращения воздействия. Переход через скорость звука. Сопло Лаваля. Течение релаксирующего газа. Замороженная скорость звука. Расчетный и нерасчетный режимы течения.
2. Задача о поршне, вдвигающемся в газ. Распад произвольного разрыва. Простейшая модель течения в ударной трубе.

Пример 2.

1. Свойство сжимаемости. Роль скорости звука. Нелинейные волны. Приложения газовой динамики.
2. Ударные волны с частичной дисперсией. Структура зоны релаксации. Элементарное решение. Ударные волны с полной дисперсией.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного экзамена или дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене или дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.