

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Гидро- и газодинамика высокотемпературных процессов
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких плотностей энергии
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

- лекции: 60 час.
- семинары: 0 час.
- лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.Д. Киверин, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высоких плотностей энергии 05.07.2021

## Аннотация

Энергетические воздействия на среду являются одним из методов исследования ее свойств. При этом любое воздействие на среду вызывает формирование в ней динамического отклика, выражающемся в перераспределении энергии со временем в пространстве в форме гидро- и газодинамических течений. С другой стороны, эволюция самого течения может являться причиной локальной концентрации энергии и создания условий для фазовых и химических превращений в среде. Таким образом, развитие газодинамического процесса в ряде случаев может применяться и как способ создания новых материалов, и как метод исследования свойств материалов. Для полноценного и всестороннего анализа и физической интерпретации тех или иных процессов важно понимать закономерности и особенности эволюции динамических процессов в средах. При этом, основой для изучения методов физического и математического анализа газодинамических процессов являются задачи о динамике сплошной среды.

Целью настоящего курса является формирование базовых знаний о гидро- и газодинамике сплошных сред при внешнем энергетическом воздействии и создании областей с высокими концентрациями энергии, а также навыков практического применения приобретенных знаний для дальнейшего использования в других областях физики и дисциплинах естественнонаучного содержания; формирование физической культуры, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

В рамках курса рассматриваются вопросы гидро- и газодинамики высокотемпературных процессов, принципы их физического и математического моделирования и методики их исследования. Существенная часть курса посвящена методам анализа сложных нестационарных процессов, вовлекающих широкий класс физических механизмов, включая конвективный перенос, процессы молекулярного переноса, лучистый теплообмен, ударное сжатие, фазовые переходы, химическую кинетику и турбулентность. Помимо фундаментальных аспектов, в рамках курса происходит знакомство с современными приложениями, в том числе в области изучения экстремальных состояний вещества, в области создания новых материалов и исследования их свойств, в области химической кинетики. Прослушивание курса дает представление о газодинамических процессах не только как о физическом явлении, но и как о прецизионном инструменте диагностики процессов, протекающих при энергетическом воздействии на среду и как о методе создания новых материалов.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Целью дисциплины «Гидро- и газодинамика высокотемпературных процессов» является формирование базовых знаний о развитии динамических процессов в сплошных средах при высокоэнергетических воздействиях на среду, а также навыков использования методологии решения фундаментальных и прикладных задач с учетом газодинамических и термодинамических процессов.

### Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по гидро- и газодинамике высокотемпературных процессов;
- формирование общезначимой культуры;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения физических задач и разработки новых технологий, самостоятельного анализа полученных результатов.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;  
современные проблемы физики;  
теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;  
принципы симметрии и законы сохранения;  
новейшие открытия естествознания;  
постановку задач физического и математического моделирования;  
о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;  
представлять панораму универсальных методов и законов современного естествознания;  
работать на современном экспериментальном оборудовании;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;  
планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
научной картиной газодинамики в мире;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании.

### 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	Основы газодинамики	15			7
2	Физика ударных волн	15			8
3	Динамика вязкой теплопроводной среды	7			7
4	Автомодельные течения	8			8
5	Тепловое излучение и лучистый теплообмен	8			8
6	Элементы теории горения и взрыва	7			7
Итого часов		60			45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Основы газодинамики

###### Лекции по теме:

Введение. Основные определения. Основные положения механики сплошных сред. Базовые законы динамики сплошной среды. Понятие идеальной жидкости. Линии тока. Закон сохранения циркуляции. Характеристики. Основы метода характеристик. Одномерное изэнтропийное течение. Инварианты Римана. Скорость звука. Плоское изэнтропийное течение совершенного газа. Нелинейное уравнение переноса Римана. Анализ нелинейности. Гиперболичность уравнений газодинамики. Центрированная волна разрежения. Автомодельное движение газа. Разрывы в решении задачи Римана. Условия формирования разрыва в задаче о сжатии газа поршнем. Понятие произвольного разрыва. Классификация. Тангенциальный разрыв. Контактный разрыв. Ударная волна. Условия на разрыве.

###### Семинары по теме:

- Базовые характеристики и соотношения газодинамики.
- Решение задач о плоском изэнтропийном течении методом характеристик.
- Неустойчивость газодинамических разрывов.

###### 2. Физика ударных волн

###### Лекции по теме:

Соотношения на фронте ударной волны. Ударная адиабата. Ударная адиабата совершенного газа с постоянной теплоемкостью. Изменение энтропии при сжатии газа в ударной волне. Природа скачка энтропии в ударной волне. Геометрическая интерпретация закономерностей ударного сжатия. Механическое и термодинамическое обоснование устойчивости ударных волн сжатия и волн разрежения в веществе с нормальными и аномальными свойствами. Явление зеркального откола.

###### Семинары по теме:

- Ударная адиабата.
- Одномерные течения с ударными волнами и волнами разрежения.
- Решение задач о динамике сплошной среды в акустическом приближении.

##### Семестр: 2 (Весенний)

###### 3. Динамика вязкой теплопроводной среды

Лекции по теме:

Вязкость и теплопроводность среды. Вывод базовых законов движения среды с учетом вязкости и теплопроводности. Вторая вязкость. Критерии подобия Рейнольдса, Пекле и Прандтля. Поглощение звука в вязкой теплопроводной среде. Задача Бюргерса. Структура ударной волны в вязкой теплопроводной среде. Волны в средах с релаксацией. Турбулентность. Модели турбулентности. Теория однородной изотропной турбулентности.

Семинары по теме:

- Решение уравнения Бюргерса. Эквивалентность уравнения Бюргерса уравнению теплопроводности.

#### 4. Автомодельные течения

Лекции по теме:

Задача о сильном взрыве в однородной атмосфере. Задача о сходящейся ударной волне. Задача Рэлея о схлопывании пузыря.

Семинары по теме:

- Пи Теорема. Решение задач механики методом анализа размерности. Решения уравнений переноса в форме бегущей волны.
- Решение задач газодинамики методом анализа размерности.

#### 5. Тепловое излучение и лучистый теплообмен

Лекции по теме:

Характеристики теплового излучения их связь друг с другом. Оптические характеристики вещества. Рассеяние и поглощение. Оптические характеристики вещества. Спонтанное и вынужденное испускание. Расчет характеристик равновесного излучения. Уравнение переноса излучения. Уравнение энергии среды с учетом потерь и источников, связанных с излучением. Диффузионное приближение для расчета потока излучения. Локальное термодинамическое равновесие и приближение лучистой теплопроводности. Тепловые волны. Молекулярная и лучистая теплопроводность.

Семинары по теме:

- Решение задач о распространении тепла в неограниченной холодной среде от локализованного источника.

#### 6. Элементы теории горения и взрыва

Основные термины и определения. Задача о тепловом взрыве. Распространение пламени.

### 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. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений [Текст]/Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, -М., Физматлит, 2008
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. ГИДРОДИНАМИКА. Теоретическая физика: т. VI. — 3-е изд., перераб.-М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1986. — 736 с.
3. Лобойко Б.Г., Диков О.Ю., Смирнов Е.Б. Сборник задач по газодинамике взрыва. 2007. 228 с. ISBN 5-902278-20-1.

#### Дополнительная литература

1. Методы подобия и размерности в механике [Текст]/Л. И. Седов, -М., Наука, 1977
2. Механика сплошной среды [Текст] : в 2 т. Т. 1 : учебник для ун-тов / Л. И. Седов .— М. : Наука, 1970 .— 492 с.
3. Механика сплошной среды [Текст] : в 2 т. Т. 2 : учебник для вузов / Л. И. Седов .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1973 .— 584 с.
4. Неустановившиеся движения сплошной среды [Текст]/К. П. Станюкович, -М., Гостехиздат, 1955
5. Подобие, автомодельность, промежуточная асимптотика [Текст], теория и приложения к геофизической гидродинамике/Г. И. Баренблатт, -Л., Гидрометеиздат, 1982
6. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ [Текст]/Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Бибба , -М., Физматлит, 2006
7. Математическая теория горения и взрыва [Текст], [монография]/Я. Б. Зельдович [и др.] , -М., Наука, 1980
8. Забабахин Е.И. Некоторые вопросы газодинамики взрыва. Снежинск, Издательство РФЯЦ – ВНИИТФ, 1997.
9. Дифференциальные уравнения математической физики [Текст] / Л. К. Мартинсон, Ю. И. Малов ; под ред. В. С. Зарубина [и др.] - МИИД-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1996

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

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
5. <http://mathnet.ru> – общероссийский математический портал.

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, MatLab и др.

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

Студент, изучающий курс "Гидро- и газодинамика высокотемпературных процессов", должен как овладеть общими знаниями о развитии динамических процессов в среде при энергетическом воздействии и о методах их теоретического и экспериментального исследования, так и научиться применять теоретические знания в практике решения конкретных задач динамики среды в результате энергетического воздействия на нее.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основы газодинамики, включая базовые математические модели, закономерности эволюции газодинамических потоков, условия формирования ударных волн и волн разрежения, механизмы влияния физических процессов различной природы на динамику среды при внешнем физическом воздействии.

Должны быть освоены методы решения задач о динамике среды при внешнем механическом, тепловом или электромагнитном воздействии. В том числе метод характеристик, методы качественного анализа нелинейных систем, метод малых возмущений, метод слабых ударных волн, методика поиска автомодельных решений.

Должны быть изучены основные направления прикладного использования особенностей развития динамических процессов в сплошных средах, в том числе в областях исследования фазовых превращений и химической кинетики.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенные для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме консультаций.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких плотностей энергии
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.Д. Киверин, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Гидро- и газодинамика высокотемпературных процессов» обучающийся должен:

### знать:

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;  
современные проблемы физики;  
теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;  
принципы симметрии и законы сохранения;  
новейшие открытия естествознания;  
постановку задач физического и математического моделирования;  
о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

### уметь:

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;  
представлять панораму универсальных методов и законов современного естествознания;  
работать на современном экспериментальном оборудовании;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;  
планировать оптимальное проведение эксперимента.

### владеть:

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
научной картиной газодинамики в мире;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании.

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

Не предусмотрен

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Предмет газодинамики.
2. Основные положения механики сплошных сред.
3. Понятие идеальной жидкости.
4. Линии тока.
5. Характеристики.
6. Основы метода характеристик.
7. Скорость звука.
8. Разрывы в решении задачи Римана.
9. Понятие произвольного разрыва. Классификация.
10. Тангенциальный разрыв. Условия на разрыве.
11. Контактный разрыв. Условия на разрыве.
12. Ударная волна. Условия на разрыве.
13. Возмущения с какими длинами волн растут быстрее в ходе развития гидродинамической неустойчивости.
14. Какой из механизмов гидродинамической неустойчивости развивается интенсивнее, Рэлея-Тэйлора или Кельвина-Гельмгольца?
15. Понятие потенциального течения.
16. Поведение потенциального течения вблизи поверхностей.
17. Тангенциальные разрывы в течении около объектов.
18. Центрированная волна разрежения.
19. Ударная адиабата.
20. Природа скачка энтропии в ударной волне.
21. Механическое и термодинамическое обоснование устойчивости ударных волн сжатия в веществе с нормальными свойствами.
22. Механическое и термодинамическое обоснование неустойчивости ударных волн разрежения в веществе с нормальными свойствами.
23. Механическое и термодинамическое обоснование неустойчивости ударных волн сжатия в веществе с аномальными свойствами.
24. Механическое и термодинамическое обоснование устойчивости ударных волн разрежения в веществе с аномальными свойствами.
25. Условия формирования разрыва в задаче о сжатии газа поршнем.
26. Понятие вязкости среды.
27. Понятие теплопроводности среды.
28. Природа второй вязкости.
29. Критерий Рейнольдса.
30. Критерий Пекле.
31. Условие возможности пренебрежения вязкостью и теплопроводностью.
32. Условие возможности пренебрежения вязкостью и теплопроводностью при расчете структуры ударных волн.
33. Роль вязкости в структуре фронта ударной волны.
34. Роль теплопроводности в структуре фронта ударной волны.
35. Автомодельность первого рода.
36. Приближение «серой материи».

37. Тепловые волны.
39. Вывести уравнения непрерывности и уравнения движения идеальной жидкости.
40. Вывести уравнение баланса энтропии для идеальной жидкости. Записать уравнение движения с использованием тепловой функции.
41. Вывести уравнение движения идеальной жидкости. Записать его только относительно вектора скорости.
42. Решение линейного уравнения переноса методом характеристик.
43. Одномерное изоэнтропийное течение. Уравнения. Характеристики. Инварианты Римана.
44. Плоское изоэнтропийное течение совершенного газа.
45. Нелинейное уравнение переноса Римана. Анализ нелинейности.
46. Гиперболичность уравнений газодинамики.
47. Характеристики волнового уравнения.
48. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.
49. Неустойчивость Рэлея-Тэйлора.
50. Неустойчивость Ландау-Дарье.
51. Вывод уравнений движения несжимаемой идеальной жидкости. Уравнение Лапласа для давления.
52. Свойства интеграла циркуляции скорости.
53. Закон сохранения циркуляции.
54. Решение задачи о равноускоренном выдвижении поршня из трубы, заполненной газом.
55. Решение задачи об истечении газа из трубы в вакуум при мгновенном удалении диафрагмы.
56. Решение задачи о равномерном выдвижении поршня из трубы.
57. Автомодельное движение газа при его истечении из трубы вслед равномерно выдвигаемому поршню.
58. Доказать невозможность существования центрированной волны сжатия.
59. Условия существования центрированной волны сжатия. Их физический смысл.
60. Соотношения на фронте ударной волны. Ударная адиабата.
61. Ударная адиабата совершенного газа с постоянной теплоемкостью.
62. Изменение энтропии при сжатии газа в ударной волне.
63. Геометрическая интерпретация закономерностей ударного сжатия. Соотношения скоростей ударной волны относительно возмущенной и невозмущенной сред и скоростей звука.
64. Геометрическая интерпретация закономерностей ударного сжатия. Изменение внутренней энергии, кинетической энергии и энтропии.
65. Доказать невозможность существования ударной волны разрежения в веществе с нормальными свойствами.
66. Соотношение для скачка энтропии в приближении ударных волн слабой интенсивности. Критерий термодинамической устойчивости ударной волны в веществе с нормальными свойствами.
67. Геометрическая интерпретация закономерностей сжатия и разрежения в веществе с аномальными свойствами. Критерий термодинамической устойчивости ударной волны разрежения.
68. На основе уравнения состояния Ван-дер-Ваальса исследовать состояние вещества вблизи критической точки жидкость-газ. Явление зеркального откола.
69. Вывод выражения для удельной силы вязкого трения в одномерном приближении.
70. Уравнение движения вязкого газа. Общий вид тензора вязких напряжений.
71. Вывод выражения для работы внутреннего трения и потоков тепла в вязкой теплопроводной среде.
72. Уравнение энергии вязкого теплопроводного газа.
73. Уравнение баланса энтропии вязкого теплопроводного газа. Роль диссипативных процессов в изменении энтропии.
74. Поглощение звука в вязкой теплопроводной среде.
75. Анализ линейного уравнения распространения звуковой волны в вязком газе.
76. Задача Бюргерса. Единый характер влияния вязкости и теплопроводности на динамику среды.
77. Уравнение Бюргерса. Автомодельное решение и его анализ.
78. Структура фронта ударной волны. Предельный случай невязкого теплопроводного газа.

79. Структура фронта ударной волны. Предельный случай нетеплопроводного вязкого газа.
80. Оценить ширину фронта ударной волны.
81. Сильный взрыв в однородной атмосфере. Законы подобия.
82. Сильный взрыв в однородной атмосфере. Постановка задачи и переход к автомодельным переменным.
83. Сильный взрыв в однородной атмосфере. Алгоритм постановки и решения задачи. Основные предположения.
84. Сильный взрыв в однородной атмосфере. Распределение параметров за взрывной волной.
85. Сильный взрыв в однородной атмосфере. Приближенное рассмотрение.
86. Задача Рэлея о схлопывании пузырька.
87. Область автомодельности решения задачи Рэлея.
38. Волны в средах с релаксацией.
88. Характеристики теплового излучения их связь друг с другом.
89. Оптические характеристики вещества. Рассеяние и поглощение.
90. Оптические характеристики вещества. Спонтанное и вынужденное испускание.
91. Расчет характеристик равновесного излучения.
92. Уравнение переноса излучения.
93. Уравнение энергии среды с учетом потерь и источников, связанных с излучением.
94. Диффузионное приближение для расчета потока излучения.
95. Локальное термодинамическое равновесие и приближение лучистой теплопроводности.
96. Тепловые волны. Молекулярная и лучистая теплопроводность.
97. Решение задачи о распространении тепла в неограниченной холодной среде от плоского источника в приближении линейной теплопроводности.
98. Решение задачи о распространении тепла в неограниченной холодной среде от плоского источника в приближении нелинейной теплопроводности.

Примеры билетов (используемых для проведения дифференцированного зачета):

1. Понятие идеальной жидкости.
2. Определить плотности и температуры при сжатии совершенного газа до заданного давления  $p$ :
  - (а) одной ударной волной;
  - (б) последовательностью двух ударных волн через промежуточное состояние  $p/2$ ;
  - (в) изоэнтропически.

Примеры экзаменационных билетов (используемых для проведения экзамена):

1. Основные положения механики сплошных сред. Понятие идеальной жидкости.
2. Понятие теплопроводности среды. Вывод выражения для работы внутреннего трения и потоков тепла в вязкой теплопроводной среде.
3. Получить выражение зависимости давления и плотности от скорости газа в простой волне.

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал 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 (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает неточности в ответе или делает несущественные ошибки при решении задач;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, если при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

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

При проведении устного дифференцированного зачета (экзамена) обучающемуся предоставляется 60 мин на подготовку. Опрос обучающегося по билету не превышает двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета (экзамена) обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.