

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Линник Оксана Владимировна

Должность: Руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ

Дата подписания: 13.10.2023 14:19:27

Уникальный программный ключ:

d85fa2f259a0913da9b08299985891736420184

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Снежинский физико-технический институт –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет

«МИФИ»

(СФТИ НИЯУ МИФИ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. руководителя по учебной
и научно-методической работе

_____ П.О.Румянцев

« _____ » _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика высокоинтенсивных процессов

наименование дисциплины

Направление подготовки/специальности 14.04.02 Ядерные физика
и технологии

Профиль подготовки (специализация) Экспериментальная ядерная физика

Квалификация (степень) выпускника _____

_____ магистр

(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения _____ Очная

(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

г. Снежинск, 2022 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Физика высокоинтенсивных процессов» позволяет студентам изучить основные теоретические положения, которые являются базой для понимания сущности высокоинтенсивных процессов, явления кумуляции, ударных и детонационных волн. А также познакомиться с основными научными методами, которые применяются в научных исследованиях, связанных с высокоинтенсивными процессами.

1.1 ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Задачи изучения дисциплины – усвоение студентами материала, посвящённого положениям термодинамики, статистической физики, законам сохранения и простейшим течениям, традиционной газодинамике и течениям с разрывными процессами.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Физика высокоинтенсивных процессов» является элективной дисциплиной. Её изучение предусмотрено на 1 курсе магистерской программы. Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин бакалаврской программы: Математический анализ, Физика, Дифференциальные уравнения, Экспериментальные методы физики, Численные методы, математическое моделирование и программирование, Теоретическая физика (статистическая физика).

Компетенции, полученные обучающимися при освоении дисциплины «Физика высокоинтенсивных процессов» могут быть использованы при прохождении производственной практики, при выполнении научно-исследовательской работы, при подготовке выпускной квалификационной работы и при практической работе выпускника по специальности.

3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Интерфейс входных и выходных компетенций

Процесс обучения основывается на следующих **входных компетенциях**:

- Способен представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;
- Способен использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения;
- Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики методов и средств технических измерений в приборостроении.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих **выходных компетенций**:

- Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач (ПК-4);
- Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий (ПК-5);
- Способен эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок, выполнять технико-экономические расчеты (ПК-9);
- Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике в области экспериментальной ядерной физики (ПК-23.2).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

З-ПК-4 Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных;

З-ПК-5 Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок;

З-ПК-9 Знать регламент эксплуатации и ремонта современных физических установок;

З-ПК-23.2 Знать: принципы и методы расчета и проектирования деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями, в том числе, с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; правила разработки проектной и рабочей технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ.

Уметь:

У-ПК-4 Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ;

У-ПК-5 Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок;

У-ПК-9 Уметь эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок;

У-ПК-23.2 Уметь: разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы; рассчитывать и проектировать детали и узлы приборов и установок с использованием стандартных средств автоматизации; разрабатывать проекты технических условий, стандартов и технических описаний установок и приборов; проводить расчеты, концептуальную и проектную проработку современных физических установок.

Владеть:

В-ПК-4 Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач;

В-ПК-5 Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок;

В-ПК-9 Владеть навыками эксплуатации, проведения испытаний и ремонта современных физических установок;

В-ПК-23.2 Владеть: современными методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок с использованием стандартных средств автоматизации; навыками разработки проектной и рабочей технической документации, оформления

законченных проектно-конструкторских работ; методами и программными средствами информационной поддержки разработки и производства изделий в жизненном цикле изделий.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр	Трудоемкость, кр.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лабор. занятия, час	Курс. проектир., семестр	СРС, час.	Форма Контроля, Экз./зачет
1	3	108	32	32	-	-	44	Зачет
2	3	108	30	30	-	-	48	Зачет

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел
			Лекции	Практ. занятия/семинары	Лаб. работы			
1	Лекция 1 1. Макроскопические системы: изолированные (замкнутые), закрытые (с обменом или работой), открытые. Их отличительные свойства. Как характеризуются свойства макроскопических систем. 2. Макроскопические параметры внешние и внутренние. Состояние ТД равновесия. Функции состояния. Термодинамические параметры. Интенсивные и экстенсивные. 3. Исходные положения термодинамики (первый и второй постулаты ТД). Транзитивность свойства ТД равновесие. Следствие транзитивности. Существование температуры (нулевое начало ТД). Уточнение понятия функции состояния при введении температуры. Какая роль внутренней энергии. 4. Гомогенные и гетерогенные системы, фазы и компоненты. 5. Равновесные и неравновесные процессы. Локальное ТД равновесие. Процессы. Равновесные и неравновесные. Релаксация.	1-2	4	4	--	2, конспект 2 отчет о практич. работе	2 устный опрос	5
2	Лекция 2 6. Внутренняя энергия системы. Работа и теплота. 7. Различные виды работы. 8. Калорическое и термические уравнения состояния. 9. Термодинамически простые системы и идеальный газ. 10. Примеры неидеальных уравнений состояния газовых составов. Их виды и задачи.	3-4	4	4	--	4, конспект. 4, отчет о практич. работе	4, устный опрос	5
3	Лекция 3 11. Первое начало ТД. 12. Теплоёмкости и теплоты изотермических изменений внешних параметров.	5-6	4	4	--	6, конспект. 6, отчет о практич. работе	6, устный опрос	5

	<p>13. Основные ТД процессы.</p> <p>14. Связь модулей упругости и теплоёмкости.</p> <p>15. Второе начало ТД. Вклад Клапейрона, Клаузиуса, Томсона (Кельвина). Вечный двигатель второго рода.</p> <p>16. Существование энтропии.</p> <p>17. Обратимые и необратимые, равновесные и неравновесные процессы</p> <p>18. Принцип адиабатической недостижимости (Каратеодори)</p> <p>19. Математическое доказательство существования энтропии.</p> <p>20. Термодинамическая шкала температур.</p> <p>21. Основные уравнения ТД равновесных процессов.</p> <p>22. Связь между термическими и калорическими параметрами уравнения состояния. Примеры.</p> <p>23. Вычисления энтропии.</p> <p>24. Второе начало ТД для неравновесных процессов.</p>							
4	<p>Лекция 4</p> <p>25. Цикл Карно и теоремы Карно. Цикл Стирлинга. Цикл Брайтона.</p> <p>26. Термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, свободная энергия, энтальпия, потенциал Гиббса.</p> <p>27. Расширения ТД потенциалов для открытых систем.</p> <p>28. Теорема Нернста в термодинамике. Как была получена?</p>	7-8	4	4	--	8, конспект. 8, отчет о практич. работе	8, устный опрос	5
5	<p>Лекция 5</p> <p>1. Исходное положение статфизики (СФ). Описание макросистемы, состоящей из большого числа микрочастиц. Фазовое пространство, представление макросистемы в нём. Вероятность системы оказаться в выделенном объёме фазового пространства. Плотность вероятности.</p> <p>2. Статистическое усреднение. Замкнутая система, ТД равновесие в ней. Состояния равновесной системы в течение временной последовательности и статистический ансамбль. Статистическое усреднение для какой-либо величины по времени и по ансамблю.</p> <p>3. Статистическая независимость квазизамкнутых подсистем. Теорема Лиувилля. Локальное ТД равновесие – интерпретация на языке СФ и физкинетики.</p> <p>4. Аддитивные интегралы движения и функция распределения. Микроканоническое распределение. Эргодическая гипотеза – объяснение её невыполнимости. Выделенная роль внутренней энергии при статистическом рассмотрении системы.</p> <p>5. Сопоставление классического и квантово-механического подхода в СФ. Введение понятия энтропии. Подсистема равновесной системы. Квантово-механическое рассмотрение. Вероятность того, что подсистема находится в состоянии с энергией, и вероятность всех реализаций значения энергии подсистемой. Количество состояний системы с энергией, плотность таких состояний в единичном энергетическом интервале и в интервале. Определение энтропии. Мультипликативность статвеса и аддитивность энтропии. Микроканоническое распределение для полной замкнутой системы.</p>	9-10	4	4	--	10, конспект. 10, отчет о практич. работе	10, устный опрос	5

6	<p>Лекция 6</p> <p>6. Введение энтропии в микроканоническое распределение. Логические действия, обоснование и ценность такого представления. Оценка расстояния между уровнями энергии в равновесной системе. Второй закон ТД – закон возрастания энтропии (R. Clousius, 1865; L. Boltzman, 1870-ые годы) с позиций СФ, как следствие положения о переходе системы, находящейся в неравновесном состоянии, в наиболее вероятное состояние.</p> <p>7. Введение температуры в ТД равновесной системе. Две равновесные системы, имеющие тепловой контакт и механическое равновесие, но не находящиеся в ТД равновесии друг с другом. Как в них будет направлен поток тепла и почему.</p>	11-12	4	4	--	12, конспект. 12, отчет о практич. работе	12, устный опрос	5
7	<p>Лекция 7</p> <p>8. Адиабатические процессы. Доказательство изэнтропичности такого процесса и обратимости на основе процедур классического описания макросистемы состоящей из микрочастиц (представление Гамильтона). Всякий адиабатический процесс обратим, но не всякий обратимый процесс является обратимым. Способ получения термодинамических зависимостей для адиабатического процесса, используя закономерности классической механики.</p> <p>9. Введение давления при микроскопическом поведении частиц (по Гамильтону), составляющих выделенную ТД равновесную систему. Внутренняя энергия системы рассматривается статистически усреднённая энергия при изменяющемся внешнем параметре – объёме. Нахождение выражение для давления и полного дифференциала для внутренней энергии с учётом зависимости от энтропии и объёма системы.</p> <p>10. Работа и количество тепла. Термодинамический потенциал – внутренняя энергия.</p> <p>11. Энтальпия и её свойства. Свободная энергия и её свойства.</p> <p>12. Свободная энергия Гиббса или просто термодинамический потенциал. Зависимость ТД потенциалов от числа части в системе.</p> <p>13. Теоремы Нернста. Статистическое доказательство. Сопоставление с термодинамикой.</p>	13-14	4	4	--	14, конспект. 14, отчет о практич. работе	14, устный опрос	10
8	<p>Лекция 8</p> <p>14. Свойства потенциалов для систем с переменным числом частиц. Потенциал.</p> <p>15. Распределение Гиббса.</p> <p>16. Распределение Максвелла.</p> <p>17. Статистический подход к получению свободной энергии.</p> <p>18. Распределение Гиббса для системы с переменным числом частиц</p> <p>19. Распределение Больцмана и свободная энергия</p> <p>20. Термодинамические функции идеального газа.</p> <p>21. Идеальный газ с постоянной теплоёмкостью</p> <p>22. Одноатомный идеальный газ.</p> <p>23. Частично ионизованная плазма.</p> <p>24. Полностью ионизованный газ.</p>	15-16	3	3	--	16, конспект. 16, отчет о практич. работе	16, устный опрос	5
9	<p>Лекция 9</p> <p>25. Учёт кулоновского взаимодействия в нейтральной плазме или в электролите</p>	17-18	3	3	--	18, конспект. 18, отчет о	18, устный опрос	5

	26. Квантовые свойства вещества. Распределение Ферми. 27. Квантовые свойства вещества. Распределение Бозе. 28. Равновесное тепловое излучение. Распределение Планка.					практич. работе		
...	Зачет							0 - 50
	Итого за семестр обучения:							100
1	Лекция 1 1. Закон сохранения массы: интегральная и дифференциальная формы. Поток массы. Закон сохранения импульса: интегральная и дифференциальная формы. Поток импульса. 2. Закон сохранения энергии: интегральная и дифференциальная формы. 4. Замыкание уравнений движения. Адиабатический и изэнтропический процессы. 3. Стационарный пример: адиабатическая атмосфера планет. Гравитирующий шар несжимаемой жидкости.	1-2	4	4	--	2, конспект 2 отчет о практич. работе	2 устный опрос	5
2	Лекция 2 4. Кумулятивные струи: упрощённая теория. 5. Кумулятивные струи: теория плоской струи. 6. Стационарные течения. Интеграл Бернулли. Циркуляция скорости. Потенциальные течения.	3-4	4	4	--	4, конспект. 4, отчет о практич. работе	4, устный опрос	5
3	Лекция 3 7. Коллапс полости в несжимаемой жидкости. Полость, заполненная газом 8. Автомодельный коллапс полости в несжимаемой жидкости.	5-6	4	4	--	6, конспект. 6, отчет о практич. работе	6, устный опрос	5
4	Лекция 4 1. Акустические процессы. Основные уравнения акустики. Потенциальность акустических течений. Величины, характеризующие течения и связи между ними. 2. Плоские акустические волны. Бегущие волны. Получение решения в виде двух бегущих волн, их физический смысл. Соотношение между решениями для скорости плотности и давления. Построить решение для начальных условий. 3. Распад произвольного акустического возмущения. Выход плоской акустической волны на свободную поверхность. Монохроматические акустические волны бегущие и стоячие. Энергия акустической волны.	7-8	3	3	--	8, конспект. 8, отчет о практич. работе	8, устный опрос	10
5	Лекция 5 4. Одномерные непрерывные течения. Характеристики. Одномерные изэнтропические течения. Инварианты Римана. Плоские бегущие волны в инвариантах Римана. 5. Простая волна (или волна Римана) – решение в традиционных переменных. Эволюция профиля бегущей волны. 6. Простая волна разрежения. Центрированные волны. Предельный переход к центрированной волне разрежения. Физический смысл течения с центрированной волной разрежения. Её автомодельность.	9-10	3	3	--	10, конспект. 10, отчет о практич. работе	10, устный опрос	5
6	Лекция 6 7. Центрированная волна сжатия. Центрированная волна сжатия конечной амплитуды. 8. Одномерные течения с однородной деформацией. Общее решение. Возможные случаи решений. Обсуждение конкретных одномерных решений с деформацией. Коллапс в точку и разлёт из точки. Циклический	11-12	3	3	--	12, конспект. 12, отчет о практич. работе	12, устный опрос	5

	коллапс вещества в точку и ограниченный разлёт. (3) Коллапс вещества в область и разлёт.							
7	Лекция 7 1. Ударные волны (УВ). Получение соотношения на фронте УВ и обсуждение их физического смысла. 2. Ударная адиабата: получение, виды представления, физический смысл и геометрическая интерпретация. 3. Ударная адиабата идеального газа. Её свойства.	13-14	3	3	--	14, конспект. 14, отчет о практич. работе	14, устный опрос	5
8	Лекция 8 4. Свойства ударной адиабаты для ударных волн слабой интенсивности. 5. Свойства ударной адиабаты для ударных волн произвольной интенсивности в сопоставлении с изэнтропами.	15-16	3	3	--	16, конспект. 16, отчет о практич. работе	16, устный опрос	5
9	Лекция 9 6. Явление детонации. Соотношения на фронте детонационной волны. Структура фронта детонационной волны. 7. Нормальная детонационная волна. Условия Жуге. 8. Детонационная адиабата. Пример идеальных газов до и после...	17-18	3	3	--	18, конспект. 18, отчет о практич. работе	18, устный опрос	5
	Зачет							0 - 50
	Итого за семестр обучения:							100

4.1 Теоретический курс

1 семестр

Раздел 1 – Термодинамика

Лекция 1

1. Макроскопические системы: изолированные (замкнутые), закрытые (с обменом или работой), открытые. Их отличительные свойства. Как характеризуются свойства макроскопических систем.

2. Макроскопические параметры внешние и внутренние. Состояние ТД равновесия. Функции состояния. Термодинамические параметры. Интенсивные и экстенсивные.

3. Исходные положения термодинамики (первый и второй постулаты ТД). Транзитивность свойства ТД равновесие. Следствие транзитивности. Существование температуры (нулевое начало ТД). Уточнение понятия функции состояния при введении температуры. Какая роль внутренней энергии.

4. Гомогенные и гетерогенные системы, фазы и компоненты.

5. Равновесные и неравновесные процессы. Локальное ТД равновесие. Процессы. Равновесные и неравновесные. Релаксация.

Лекция 2

6. Внутренняя энергия системы. Работа и теплота.

7. Различные виды работы.

8. Калорическое и термические уравнения состояния.

9. Термодинамически простые системы и идеальный газ.

10. Примеры неидеальных уравнений состояния газовых составов. Их виды и задачи.

Лекция 3

11. Первое начало ТД.

12. Теплоёмкости и теплоты изотермических изменений внешних параметров.

13. Основные ТД процессы.

14. Связь модулей упругости и теплоёмкости.

15. Второе начало ТД. Вклад Клапейрона, Клаузиуса, Томсона (Кельвина). Вечный двигатель второго рода.
16. Существование энтропии.
17. Обратимые и необратимые, равновесные и неравновесные процессы
18. Принцип адиабатической недостижимости (Каратеодори)
19. Математическое доказательство существования энтропии.
20. Термодинамическая шкала температур.
21. Основные уравнения ТД равновесных процессов.
22. Связь между термическими и калорическими параметрами уравнения состояния.

Примеры.

23. Вычисления энтропии.
24. Второе начало ТД для неравновесных процессов.

Лекция 4

25. Цикл Карно и теоремы Карно. Цикл Стирлинга. Цикл Брайтона.
26. Термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, свободная энергия, энтальпия, потенциал Гиббса.
27. Расширения ТД потенциалов для открытых систем.
28. Теорема Нернста в термодинамике. Как была получена?

Раздел 2 – Статистическая физика

Лекция 5

1. Исходное положение статфизики (СФ). Описание макросистемы, состоящей из большого числа микрочастиц. Фазовое пространство, представление макросистемы в нём. Вероятность системы оказаться в выделенном объёме фазового пространства. Плотность вероятности.

2. Статистическое усреднение. Замкнутая система, ТД равновесие в ней. Состояния равновесной системы в течение временной последовательности и статистический ансамбль. Статистическое усреднение для какой-либо величины по времени и по ансамблю.

3. Статистическая независимость квазизамкнутых подсистем. Теорема Лиувилля. Локальное ТД равновесие – интерпретация на языке СФ и физкинематики.

4. Аддитивные интегралы движения и функция распределения. Микроканоническое распределение. Эргодическая гипотеза – объяснение её невыполнимости. Выделенная роль внутренней энергии при статистическом рассмотрении системы.

5. Сопоставление классического и квантово-механического подхода в СФ. Введение понятия энтропии. Подсистема равновесной системы. Квантово-механическое рассмотрение. Вероятность того, что подсистема находится в состоянии с энергией, и вероятность всех реализаций значения энергии подсистемой. Количество состояний системы с энергией, плотность таких состояний в единичном энергетическом интервале и в интервале. Определение энтропии. Мультикативность статвеса и аддитивность энтропии. Микроканоническое распределение для полной замкнутой системы.

Лекция 6

6. Введение энтропии в микроканоническое распределение. Логические действия, обоснование и ценность такого представления. Оценка расстояния между уровнями энергии в равновесной системе. Второй закон ТД – закон возрастания энтропии (R. Clouius, 1865; L. Boltzman, 1870-ые годы) с позиций СФ, как следствие положения о переходе системы, находящейся в неравновесном состоянии, в наиболее вероятное состояние.

7. Введение температуры в ТД равновесной системе. Две равновесные системы, имеющие тепловой контакт и механическое равновесие, но не находящиеся в ТД равновесии друг с другом. Как в них будет направлен поток тепла и почему.

Лекция 7

8. Адиабатические процессы. Доказательство изэнтропичности такого процесса и обратимости на основе процедур классического описания макросистемы состоящей из микрочастиц (представление Гамильтона). Всякий адиабатический процесс обратим, но не всякий обратимый процесс является обратимым. Способ получения термодинамических зависимостей для адиабатического процесса, используя закономерности классической механики.

9. Введение давления при микроскопическом поведении частиц (по Гамильтону), составляющих выделенную ТД равновесную систему. Внутренняя энергия системы рассматривается статистически усреднённая энергия при изменяющемся внешнем параметре – объёме. Нахождение выражение для давления и полного дифференциала для внутренней энергии с учётом зависимости от энтропии и объёма системы.

10. Работа и количество тепла. Термодинамический потенциал – внутренняя энергия.

11. Энтальпия и её свойства. Свободная энергия и её свойства.

12. Свободная энергия Гиббса или просто термодинамический потенциал.

Зависимость ТД потенциалов от числа части в системе.

13. Теоремы Нернста. Статистическое доказательство. Сопоставление с термодинамикой.

Лекция 8

14. Свойства потенциалов для систем с переменным числом частиц. Потенциал.

15. Распределение Гиббса.

16. Распределение Максвелла.

17. Статистический подход к получению свободной энергии.

18. Распределение Гиббса для системы с переменным числом частиц

19. Распределение Больцмана и свободная энергия

20. Термодинамические функции идеального газа.

21. Идеальный газ с постоянной теплоёмкостью

22. Одноатомный идеальный газ.

23. Частично ионизованная плазма.

24. Полностью ионизованный газ.

Лекция 9

25. Учёт кулоновского взаимодействия в нейтральной плазме или в электролите

26. Квантовые свойства вещества. Распределение Ферми.

27. Квантовые свойства вещества. Распределение Бозе.

28. Равновесное тепловое излучение. Распределение Планка.

2 семестр

Раздел 1 – Законы сохранения и простейшие течения

Лекция 1

1. Закон сохранения массы: интегральная и дифференциальная формы. Поток массы. Закон сохранения импульса: интегральная и дифференциальная формы. Поток импульса.

2. Закон сохранения энергии: интегральная и дифференциальная формы. 4.

Замыкание уравнений движения. Адиабатический и изэнтропический процессы.

3. Стационарный пример: адиабатическая атмосфера планет. Гравитирующий шар несжимаемой жидкости.

Лекция 2

4. Кумулятивные струи: упрощённая теория.

5. Кумулятивные струи: теория плоской струи.

6. Стационарные течения. Интеграл Бернулли. Циркуляция скорости.

Потенциальные течения

Лекция 3

7. Коллапс полости в несжимаемой жидкости. Полость, заполненная газом

8. Автомодельный коллапс полости в несжимаемой жидкости.

Раздел 2 – Традиционная газодинамика

Лекция 4

1. Акустические процессы. Основные уравнения акустики. Потенциальность акустических течений. Величины, характеризующие течения и связи между ними.

2. Плоские акустические волны. Бегущие волны. Получение решения в виде двух бегущих волн, их физический смысл. Соотношение между решениями для скорости плотности и давления. Построить решение для начальных условий.

3. Распад произвольного акустического возмущения. Выход плоской акустической волны на свободную поверхность. Монохроматические акустические волны бегущие и стоячие. Энергия акустической волны.

Лекция 5

4. Одномерные непрерывные течения. Характеристики. Одномерные изэнтропические течения. Инварианты Римана. Плоские бегущие волны в инвариантах Римана.

5. Простая волна (или волна Римана) – решение в традиционных переменных. Эволюция профиля бегущей волны.

6. Простая волна разрежения. Центрированные волны. Предельный переход к центрированной волне разрежения. Физический смысл течения с центрированной волной разрежения. Её автомодельность.

Лекция 6

7. Центрированная волна сжатия. Центрированная волна сжатия конечной амплитуды.

8. Одномерные течения с однородной деформацией. Общее решение. Возможные случаи решений. Обсуждение конкретных одномерных решений с деформацией. Коллапс в точку и разлёт из точки. Циклический коллапс вещества в точку и ограниченный разлёт. (3) Коллапс вещества в область и разлёт.

Раздел 3 – Течения с разрывными процессами

Лекция 7

1. Ударные волны (УВ). Получение соотношения на фронте УВ и обсуждение их физического смысла.

2. Ударная адиабата: получение, виды представления, физический смысл и геометрическая интерпретация.

3. Ударная адиабата идеального газа. Её свойства.

Лекция 8

4. Свойства ударной адиабаты для ударных волн слабой интенсивности.

5. Свойства ударной адиабаты для ударных волн произвольной интенсивности в сопоставлении с изэнтропами.

Лекция 9

6. Явление детонации. Соотношения на фронте детонационной волны. Структура фронта детонационной волны.

7. Нормальная детонационная волна. Условия Жуге.

8. Детонационная адиабата. Пример идеальных газов до и после...

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации дисциплины «Физика высокоинтенсивных процессов» используются различные образовательные технологии – аудиторные занятия проводятся в форме лекций и практических занятий.

Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы и источников информации в сети Интернет.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Посещаемость занятий, наличие конспектов лекций, отчеты по практическим работам.

Для закрепления теоретического материала 1 семестра студентам предлагается написание реферата с последующим его устным докладом.

Темы докладов:

1. Становление и развитие понятия энтропия в термодинамике и в статистической физике.
2. Исходные положения в термодинамике (нулевое начало термодинамики). Температура, экстенсивные и интенсивные величины.
3. Первое начало термодинамики. Понятие теплоты, работы, внутренняя энергия. Функции процесса.
4. Второе начало термодинамики.
5. Цикл Карно как предельный цикл в термодинамике. Использование циклов в современных технологиях.
6. Внутренняя энергия как термодинамический потенциал. Физические свойства, математические соотношения.
7. Термодинамический потенциал свободной энергии Гельмгольца F и область его применимости. Физические свойства, математические соотношения.
8. Термодинамический потенциал энтальпия H и область его применимости. Физические свойства, математические соотношения.
9. Термодинамический потенциал Гиббса G и область его применимости. Физические свойства, математические соотношения.
10. Термодинамический потенциал с переменным числом частиц и область его применимости. Химический потенциал. Физические свойства, математические соотношения.
11. Третье начало термодинамики. Абсолютная шкала температур.
12. Большой термодинамический потенциал Ω (потенциал Ландау) и его применение. Физические свойства, математические соотношения.
13. Уравнения состояния реального газа.
14. Гносеологическое и технологическое применение метода термодинамических потенциалов. Соотношения Максвелла.
15. Параграфы из статистической физики Ландау-Лифшица.

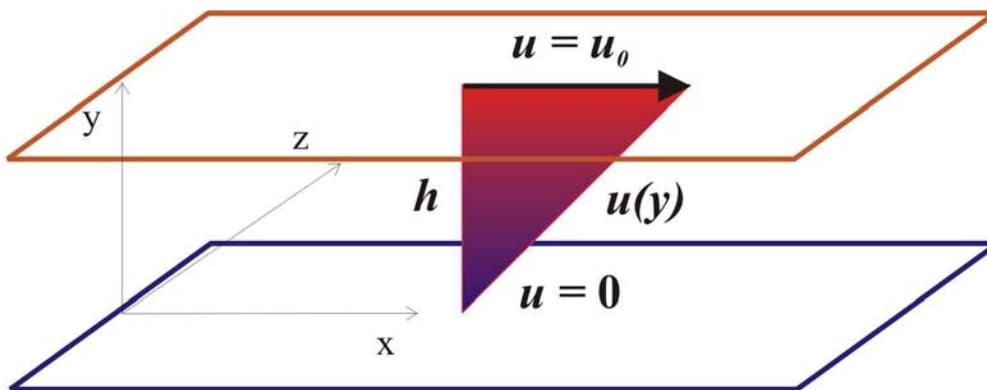
Задачи

Задача 1

Жидкость стационарно движется в плоском канале, состоящем из двух параллельных пластин, расположенным на расстоянии h друг от друга. Нижняя пластина покоится, а верхняя движется со скоростью u_0 . Давление по торцам канала не прикладывается. Найти распределение скоростей, среднюю скорость в канале и силу трения, действующую на стенки канала.

Выберем Декартову систему координат. Ориентируем её так, чтобы ось x была направлена по направлению движения верхней пластины. Начало координат расположим на нижней пластине. Ось y направим от нижней пластины к верхней. Ось z при этом будет размещаться на нижней пластине, замыкая систему координат.

В силу свойств симметрии рассматриваемого течения ясно, что каждая из компонент скорости не зависит от соответствующей ей координате. Компонента u_x не зависит от x , так как все значения этой компоненты на одном и том же уровне (при одинаковых значениях y) одинаковы. Компоненты u_y и u_z вообще обращаются в ноль, так соответствующие им движения в системе отсутствуют. По этим причинам видно, что уравнение неразрывности не даёт дополнительной информации (или указывает на независимость величины u_x от значений x).



Уравнение Навье-Стокса в форме **Ошибка! Источник ссылки не найден.** или **Ошибка! Источник ссылки не найден.** приводит к двум уравнениям. От уравнения для y -компонент остаётся лишь один член

$$dP/dy = 0.$$

Это приводит к постоянству давления по сечению канала. Уравнение для x -компонент приводит к соотношению

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0. \quad (0.1)$$

Здесь и далее мы опускаем индекс x при написании компоненты $u_x \equiv u$. Мы рассматриваем случай, когда в системе отсутствует градиент давления, то есть давление вдоль всего канала постоянно. Тогда уравнение (0.1) сводится к соотношению

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0,$$

решение которого $u = ay + b$. Из условия $u(y=0) = 0$ следует, что $b = 0$. А условие $u(y=h) = u_0$ дает $a = u_0/h$, то есть скорость в канале распределена линейно по закону

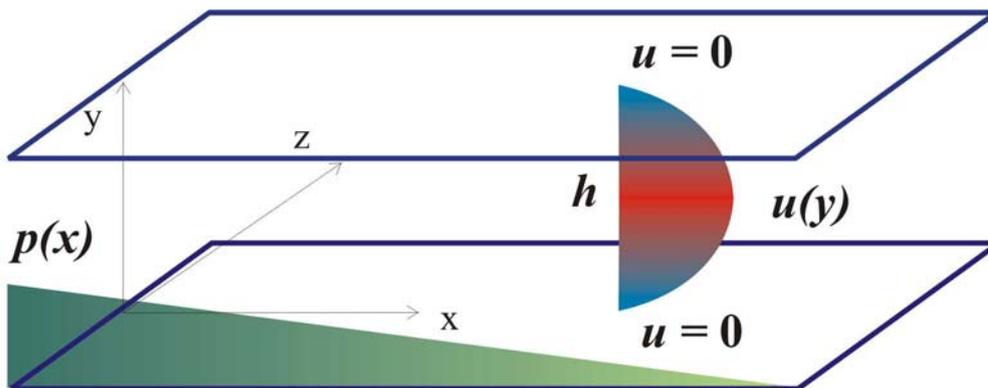
$$u = u_0 y/h.$$

Ясно, что средняя скорость жидкости в канале равна $u_0/2$. На каждую из плоскостей действует сила трения одинаковая по величине, противоположная по направлению (в силу противоположной ориентации градиента скорости для соответствующих плоскостей):

$$\sigma_{xy} = \eta \frac{du}{dy} = \frac{\eta u_0}{h}.$$

Задача 2.

Найти закон стационарного движения жидкости в плоском канале, аналогичном задаче 1, в предположении, что обе стенки канала покоятся, а на торцах канала приложены разные давления. Найти также среднюю и максимальную скорости в канале и силу трения, действующую на стенки канала.



Как и в случае предыдущей задачи из уравнений для y -компонент находим, что давление одинаково в поперечном сечении канала. Принципиальным является уравнение для x -компонент, которое имеет вид (0.1):

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}.$$

В нём левое слагаемое может зависеть только от x , правое – только от y . Следовательно, равенство возможно, когда

$$dP/dx = const.$$

Тогда

$$u = \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dx} y^2 + ay + b.$$

В силу действия вязкости скорость жидкости на поверхности нижней и верхней стенок канала равна нулю. Тогда $b = 0$, а $a = -(dP/dx)h/2\eta$. Поэтому распределение скорости в канале имеет вид параболы

$$u = -\frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dx} y(y-h) \quad (0.2)$$

При этом скорость имеет максимальное значение в середине канала $u_{max} = -(dP/dx)h^2/8\eta$.

А среднее значение скорости по сечению канала составляет $\bar{u} = -(dP/dx)h^2/12\eta$.

Оценим теперь силу трения, действующую на стенки канала. Для этого нам необходимо иметь значение производной скорости у стенок

$$\left. \frac{du}{dx} \right|_{y=h} = \left(\frac{1}{\eta} \frac{dP}{dx} y + a \right) \Big|_{y=h} = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dx} \left(y - \frac{h}{2} \right) \Big|_{y=h} = \pm \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dx} h$$

А значение тензора напряжения трения будет

$$\sigma'_{xy} \Big|_{y=h} = \mp \eta \frac{du}{dy} = -\frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dx} h \quad (0.3)$$

Задача 3

Имеется плоский канал с жидкостью. На концах этого канала приложено различное давление, а верхняя стенка движется со скоростью u_0 (см., задачи 1 и 2). Найти распределение скорости в канале, средние и максимальные значения скорости и силу трения на стенках канала.

Задача 4.

Имеется цилиндрический канал произвольного сечения длины l . На концах канала, приложено различное давление ΔP . Найти уравнения для описания стационарного течения вязкой жидкости по такому каналу. Задачу решить для случая, когда сечение канала окружность. Найти профиль скорости, среднее и максимальные значения скорости, трение на стенки канала, расход жидкости

Как и ранее, в этом случае уравнение непрерывности удовлетворяется тождественно. Из y - и z -компонент уравнения движения следуют соотношения $\partial P / \partial y = \partial P / \partial z = 0$. Это означает, что давление в сечении канала постоянно. Уравнение для x -компоненты принимает вид

$$\frac{1}{\eta} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (0.4)$$

Это возможно, когда левая и правая части равны константе, то есть градиент давления постоянен вдоль трубы

$$\frac{dP}{dx} = const = \frac{\Delta P}{l}$$

Здесь знак минус означает, а распределение скорости по сечению канала будет определяться уравнением

$$\Delta u = const = \Delta P/l\eta$$

Пусть канал представляет собою полую трубу, тогда оператор Лапласа будет содержать только радиальную часть

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{du}{dr} \right) = \frac{\Delta P}{\eta l}$$

Решение его имеет вид

$$u = \frac{\Delta P}{4\eta l} r^2 + a \ln r + b$$

Постоянная a должна быть равна нулю из требования конечности скорости вдоль оси трубы, а постоянная b находится из условия обращения скорости в нуль на стенке канала $b = \Delta P/4\eta l$. Тогда

$$u = \frac{\Delta P}{4\eta l} (r^2 - R^2), \tag{0.5}$$

то есть распределение скорости в канале тоже имеет параболический вид.

Расход жидкости получается интегрированием по всему сечению

$$Q = 2\pi r \int_0^R u r dr = -\frac{\pi \Delta P}{8\eta l} R^4 \tag{0.6}$$

Здесь минус означает, что при росте давления вдоль канала жидкость движется в обратном направлении. Это выражение было получено в 1839 году Гагеном (G. Hagen) и в 1840 году Пуазейлем (J.L.M. Poiseuille). В 1845 году оно было теоретически объяснено Стоксом (G.G. Stokes).

Задача 5.

Определить закон течения несжимаемой жидкости в трубе длиной l с кольцевым сечением с радиусами R_1 и R_2 под действием перепада давлений ΔP .

Задачи 6,7,8.

Аналогично задаче 5, но сечение трубы эллипс $y^2/a^2 + z^2/b^2 = 1$, прямоугольник со сторонами h_1 и h_2 , треугольник со сторонами h_1 , h_2 и h_3 .

Задача 9

Аналогична задаче 5, но в трубе нет перепада давления, а движение жидкости осуществляется за счет движения внутренней трубы со скоростью u_0 .

Задача 10

Аналогична задачам 5 и 9, то есть на концах канала приложен перепад давления, и средняя труба движется относительно внутренней со скоростью u_0 .

Задача 11

Определить движение жидкости, заключённой между двумя коаксиальными цилиндрами с радиусами R_1 и R_2 , которые вращаются со скоростями Ω_1 и Ω_2 .

Из соображений симметрии следует, что

$$u_r = u_z = 0, \quad u_\varphi = u(r), \quad P = P(r).$$

Уравнения Навье-Стокса в цилиндрических координатах для r - и φ -компонент дают

$$\frac{dP}{dr} = \frac{\rho u^2}{r}, \tag{0.7}$$

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} = 0. \tag{0.8}$$

Решение последнего уравнения следует искать в степенном виде $u \propto r^n$. Подставляя в (0.8), получаем

$$u = ar + b/r.$$

Константы находим из условий $u|_{r=R_1} = \Omega_1 R_1$ и $u|_{r=R_2} = \Omega_2 R_2$:

$$u = \frac{\Omega_2 R_2^2 - \Omega_1 R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} r + \frac{(\Omega_1 - \Omega_2) R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \frac{1}{r} \quad (0.9)$$

Перечень вопросов к зачету по дисциплине «Физика высокоинтенсивных процессов»:

1 семестр:

1. Макроскопические системы: изолированные (замкнутые), закрытые (с обменом или работой), открытые. Их отличительные свойства. Как характеризуются свойства макроскопических систем.
2. Макроскопические параметры внешние и внутренние. Состояние ТД равновесия. Функции состояния. Термодинамические параметры. Интенсивные и экстенсивные.
3. Исходные положения термодинамики (первый и второй постулаты ТД). Транзитивность свойства ТД равновесие. Следствие транзитивности. Существование температуры (нулевое начало ТД). Уточнение понятия функции состояния при введении температуры. Какая роль внутренней энергии.
4. Гомогенные и гетерогенные системы, фазы и компоненты.
5. Равновесные и неравновесные процессы. Локальное ТД равновесие. Процессы. Равновесные и неравновесные. Релаксация.
6. Внутренняя энергия системы. Работа и теплота.
7. Различные виды работы.
8. Калорическое и термические уравнения состояния.
9. Термодинамически простые системы и идеальный газ.
10. Примеры неидеальных уравнений состояния газовых составов. Их виды и задачи.
11. Первое начало ТД.
12. Теплоёмкости и теплоты изотермических изменений внешних параметров.
13. Основные ТД процессы.
14. Связь модулей упругости и теплоёмкости.
15. Второе начало ТД. Вклад Клапейрона, Клаузиуса, Томсона (Кельвина). Вечный двигатель второго рода.
16. Существование энтропии.
17. Обратимые и необратимые, равновесные и неравновесные процессы
18. Принцип адиабатической недостижимости (Каратеодори)
19. Математическое доказательство существования энтропии.
20. Термодинамическая шкала температур.
21. Основные уравнения ТД равновесных процессов.
22. Связь между термическими и калорическими параметрами уравнения состояния. Примеры.
23. Вычисления энтропии.
24. Второе начало ТД для неравновесных процессов.
25. Цикл Карно и теоремы Карно. Цикл Стирлинга. Цикл Брайтона.
26. Термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, свободная энергия, энтальпия, потенциал Гиббса.
27. Расширения ТД потенциалов для открытых систем.
28. Теорема Нернста в термодинамике. Как была получена?

Раздел 2 – Статистическая физика

1. Исходное положение статфизики (СФ). Описание макросистемы, состоящей из большого числа микрочастиц. Фазовое пространство, представление макросистемы в нём. Вероятность системы оказаться в выделенном объёме фазового пространства. Плотность вероятности.

2. Статистическое усреднение. Замкнутая система, ТД равновесие в ней. Состояния равновесной системы в течение временной последовательности и статистический ансамбль. Статистическое усреднение для какой-либо величины по времени и по ансамблю.
3. Статистическая независимость квазизамкнутых подсистем. Теорема Лиувилля. Локальное ТД равновесие – интерпретация на языке СФ и физкинетики.
4. Аддитивные интегралы движения и функция распределения. Микроканоническое распределение. Эргодическая гипотеза – объяснение её невыполнимости. Выделенная роль внутренней энергии при статистическом рассмотрении системы.
5. Сопоставление классического и квантово-механического подхода в СФ. Введение понятия энтропии. Подсистема равновесной системы. Квантово-механическое рассмотрение. Вероятность того, что подсистема находится в состоянии с энергией, и вероятность всех реализаций значения энергии подсистемой. Количество состояний системы с энергией, плотность таких состояний в единичном энергетическом интервале и в интервале. Определение энтропии. Мультикативность статвеса и аддитивность энтропии. Микроканоническое распределение для полной замкнутой системы.
6. Введение энтропии в микроканоническое распределение. Логические действия, обоснование и ценность такого представления. Оценка расстояния между уровнями энергии в равновесной системе. Второй закон ТД – закон возрастания энтропии (R. Clouius, 1865; L. Boltzman, 1870-ые годы) с позиций СФ, как следствие положения о переходе системы, находящейся в неравновесном состоянии, в наиболее вероятное состояние.
7. Введение температуры в ТД равновесной системе. Две равновесные системы, имеющие тепловой контакт и механическое равновесие, но не находящиеся в ТД равновесии друг с другом. Как в них будет направлен поток тепла и почему.
8. Адиабатические процессы. Доказательство изэнтропичности такого процесса и обратимости на основе процедур классического описания макросистемы состоящей из микрочастиц (представление Гамильтона). Всякий адиабатический процесс обратим, но не всякий обратимый процесс является обратимым. Способ получения термодинамических зависимостей для адиабатического процесса, используя закономерности классической механики.
9. Введение давления при микроскопическом поведении частиц (по Гамильтону), составляющих выделенную ТД равновесную систему. Внутренняя энергия системы рассматривается статистически усреднённая энергия при изменяющемся внешнем параметре – объёме. Нахождение выражение для давления и полного дифференциала для внутренней энергии с учётом зависимости от энтропии и объёма системы.
10. Работа и количество тепла. Термодинамический потенциал – внутренняя энергия.
11. Энтальпия и её свойства. Свободная энергия и её свойства.
12. Свободная энергия Гиббса или просто термодинамический потенциал. Зависимость ТД потенциалов от числа части в системе.
13. Теоремы Нернста. Статистическое доказательство. Сопоставление с термодинамикой.
14. Свойства потенциалов для систем с переменным числом частиц. Потенциал.
15. Распределение Гиббса.
16. Распределение Максвелла.
17. Статистический подход к получению свободной энергии.
18. Распределение Гиббса для системы с переменным числом частиц
19. Распределение Больцмана и свободная энергия
20. Термодинамические функции идеального газа.
21. Идеальный газ с постоянной теплоёмкостью
22. Одноатомный идеальный газ.
23. Частично ионизованная плазма.
24. Полностью ионизованный газ.

25. Учёт кулоновского взаимодействия в нейтральной плазме или в электролите
26. Квантовые свойства вещества. Распределение Ферми.
27. Квантовые свойства вещества. Распределение Бозе.
28. Равновесное тепловое излучение. Распределение Планка.

2 семестр:

Раздел 1 – Законы сохранения и простейшие течения

1. Закон сохранения массы: интегральная и дифференциальная формы. Поток массы. Закон сохранения импульса: интегральная и дифференциальная формы. Поток импульса.
2. Закон сохранения энергии: интегральная и дифференциальная формы. 4. Замыкание уравнений движения. Адиабатический и изэнтропический процессы.
3. Стационарный пример: адиабатическая атмосфера планет. Гравитирующий шар несжимаемой жидкости.
4. Кумулятивные струи: упрощённая теория.
5. Кумулятивные струи: теория плоской струи.
6. Стационарные течения. Интеграл Бернулли. Циркуляция скорости. Потенциальные течения
7. Коллапс полости в несжимаемой жидкости. Полость, заполненная газом
8. Автомодельный коллапс полости в несжимаемой жидкости.

Раздел 2 – Традиционная газодинамика

1. Акустические процессы. Основные уравнения акустики. Потенциальность акустических течений. Величины, характеризующие течения и связи между ними.
2. Плоские акустические волны. Бегущие волны. Получение решения в виде двух бегущих волн, их физический смысл. Соотношение между решениями для скорости плотности и давления. Построить решение для начальных условий.
3. Распад произвольного акустического возмущения. Выход плоской акустической волны на свободную поверхность. Монохроматические акустические волны бегущие и стоячие. Энергия акустической волны.
4. Одномерные непрерывные течения. Характеристики. Одномерные изэнтропические течения. Инварианты Римана. Плоские бегущие волны в инвариантах Римана.
5. Простая волна (или волна Римана) – решение в традиционных переменных. Эволюция профиля бегущей волны.
6. Простая волна разрежения. Центрированные волны. Предельный переход к центрированной волне разрежения. Физический смысл течения с центрированной волной разрежения. Её автомодельность.
7. Центрированная волна сжатия. Центрированная волна сжатия конечной амплитуды.
8. Одномерные течения с однородной деформацией. Общее решение. Возможные случаи решений. Обсуждение конкретных одномерных решений с деформацией. Коллапс в точку и разлёт из точки. Циклический коллапс вещества в точку и ограниченный разлёт. (3) Коллапс вещества в область и разлёт.

Раздел 3 – Течения с разрывными процессами

1. Ударные волны (УВ). Получение соотношения на фронте УВ и обсуждение их физического смысла.
2. Ударная адиабата: получение, виды представления, физический смысл и геометрическая интерпретация.
3. Ударная адиабата идеального газа. Её свойства.
4. Свойства ударной адиабаты для ударных волн слабой интенсивности.
5. Свойства ударной адиабаты для ударных волн произвольной интенсивности в сопоставлении с изэнтропами.
6. Явление детонации. Соотношения на фронте детонационной волны. Структура фронта детонационной волны.

7. Нормальная детонационная волна. Условия Жуге.
8. Детонационная адиабата. Пример идеальных газов до и после...

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

- Автоматизированное рабочее место преподавателя;
- Мультимедийный проектор, экран.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 14.04.02 - «Ядерная физика и технологии».

Автор

д.ф.-м.н., профессор
профессор кафедры ЯФСТ
СФТИ НИЯУ МИФИ

Симоненко В.А.,

Рецензент

Программа одобрена на заседании кафедры «Ядерная физика и спецтехнологии»