

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Лабораторный практикум по физической механике
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

6 (весенний) - Зачет

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 135 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 135 час.

Самостоятельная работа: 180 час.

Всего часов: 315, всего зач. ед.: 7

Программу составили:

А.И. Крикунова, канд. физ.-мат. наук, доцент

В.А. Панов, канд. физ.-мат. наук, доцент

А.С. Савельев, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФАКТ 02.12.2024

Аннотация

Курс «Лабораторный практикум по физической механике» включает в себя разделы, которые относятся к базовой и вариативной частям учебной программы, изучается на 3 и 4 курсе бакалавриата.

Изучение учебной дисциплины направлено на формирование навыков экспериментального изучения явлений гидро- газодинамики.

Данная дисциплина является логическим продолжением курсов по механике сплошных сред и физической механики и позволяет на практике проверить излагаемые в данных курсах физические закономерности. Большинство излагаемых в курсе подходов может быть непосредственно использовано при решении практических задач из области газовой динамики ракетно-космической техники и энергетических установок.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- закрепление базовых теоретических знаний и получение практических навыков в области механики сплошных сред и физической механики для использования при изучении дисциплин по соответствующей бакалаврской программе.

Задачи дисциплины

- приобретение практических навыков при моделировании и измерении гидрогазодинамических и прочностных параметров, параметров плазмы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен осуществлять теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих в избранной области технической физики
	ОПК-3.2 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований
	ОПК-3.3 Обладает способностью к освоению и применению новых знаний, полученных при изучении литературы, научных статей и других источников
ОПК-7 Способен самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней	ОПК-7.1 Понимает принципы работы используемой физической, аналитической и технологической аппаратуры
	ОПК-7.2 Владеет навыками безопасной работы с современной физической, аналитической и технологической аппаратурой
	ОПК-7.3 Проводит эксперимент с использованием физической, аналитической и технологической аппаратуры

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные физические величины, их определения, единицы измерения в системе единиц СИ, физические явления, основные гипотезы и законы механики сплошных сред и их приложения для решения различных прикладных задач;
- основные теоретические представления и модели течений жидкости, газов и плазмы;
- характер математических объектов аппарата механики сплошных сред;
- принципы математического описания движения газообразных и жидких сред.

уметь:

- применять физические законы для решения задач экспериментального и прикладного характера;
- составлять физико-математические модели процессов динамических течений жидкости и газов;
- решать соответствующие системы дифференциальных уравнений в частных производных с учетом граничных и начальных условий;
- формулировать математические модели рассматриваемых проблем механики, как системы взаимодействующих подмоделей, самостоятельно решать классические задачи;
- применять теоретический материал к анализу конкретных физических ситуаций, использовать различные методы решения типичных задач, анализировать полученные результаты;
- пользоваться основной и дополнительной литературой по курсу.

владеть:

- навыками выполнения физических экспериментов и оценки их результатов;
- приемами постановки и проведения физического эксперимента с последующим анализом и оценкой полученных результатов;
- навыками работы с современной измерительной аппаратурой;
- основными принципами автоматизации и компьютеризации процессов сбора и обработки информации;
- системой знаний о закономерностях явлений и процессов в механике сплошных сред, разбираться в физических процессах и формулировать феноменологические теории разделов механики сплошных сред;
- основными элементами техники безопасности при проведении экспериментальных исследований.

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	Зондовые методы исследования плазмы			3	5
2	Исследование колебаний жидкости в канале			4	5
3	Методы генерации и регистрации ударных волн			4	5
4	Исследование сверхзвукового потока разреженного газа			4	5
5	Структура ударной волны при обтекании цилиндра потоком газа низкой плотности			5	5
6	Определение времени колебательной релаксации CO ₂			5	5
7	Атмосферно-вакуумная сверхзвуковая аэродинамическая труба			5	6
8	Обтекание пластины сверхзвуковым потоком			5	3
9	Исследование свободной турбулентной струи			5	3
10	Гидродинамическая устойчивость вращательного течения Куэтта			5	3

11	Исследование ламинарного пограничного слоя на пластине с помощью лазерного доплеровского измерителя скорости			10	5
12	Измерение осредненных и пульсационных характеристик турбулентного потока с помощью термоанемометра постоянной температуры			10	5
13	Генерация низкотемпературной плазмы электродуговыми плазмотронами			10	5
14	Исследование взаимодействия концентрированных электронных пучков с твердым телом			10	5
15	Измерение температуры тяжелых частиц в газовом разряде по спектру излучения второй положительной системы N ₂			10	5
16	Исследование распространения звуковых волн			10	5
17	Исследование режимов истечения из сопла Лаваля методом Particle Image Velocimetry			10	5
18	Экспериментальное исследование неустойчивости Релея-Тейлора			20	100
Итого часов				135	180
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		315 час., 7 зач.ед.			

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

Семестр: 6 (Весенний)

1. Зондовые методы исследования плазмы

В работе изучаются методы диагностики электрических параметров плазмы. Проводятся измерения с помощью одиночного зонда и двойного зонда. Определяется потенциал плазмы, и функции распределения электронов по энергиям.

2. Исследование колебаний жидкости в канале

В работе исследуются колебания жидкости в канале. С помощью цифрового осциллографа снимаются амплитудно-частотные характеристики колебания жидкости. Проводится Фурье-анализ. Измеряются зависимости амплитуды основной частоты волнопродуктора и величины собственной частоты колебаний жидкости от длины канала.

3. Методы генерации и регистрации ударных волн

В работе изучается генерация ударных волн на трубе УТ-2. Проводится теневая визуализация и измерение скорости фронта ударной волны, измерение импульсного давления.

4. Исследование сверхзвукового потока разреженного газа

В работе изучается поток разреженного газа.

Поток создается вакуумной аэродинамической трубой непрерывного действия ВТ-1.

Проводятся измерения полного давления, по которым вычисляются параметры потока в поле течения сопла

5. Структура ударной волны при обтекании цилиндра потоком газа низкой плотности

В работе изучается отошедшая ударная волна, образовавшаяся на цилиндре в потоке разреженного газа.

Измерение толщины ударной волны и расстояния ее отхода при помощи свободномолекулярного термозонда.

6. Определение времени колебательной релаксации CO₂

в работе определяется время колебательной релаксации деформационной моды углекислого газа. Метод основан на эффекте увеличения энтропии в неравновесном процессе релаксации при быстром торможении потока.

7. Атмосферно-вакуумная сверхзвуковая аэродинамическая труба

В работе изучается устройство и принцип работы атмосферно-вакуумной трубы периодического действия СТ-4.

С помощью гребенки насадок полного давления измеряют параметры на выходе из сопла Лавалья.

Измеряют статическое давление вдоль сопла Лавалья.

Измеряют время работы трубы в сверхзвуковом режиме истечения.

8. Обтекание пластины сверхзвуковым потоком

В работе изучается обтекание пластинки ориентированной под разными углами к сверхзвуковому потоку.

Измеряется статическое давление вдоль пластины, когда она ориентирована вдоль потока, под углом +10 градусов к потоку и под углом -10 градусов к потоку.

Проводится визуализация течения теневым методом.

9. Исследование свободной турбулентной струи

В работе изучают основные закономерности поведения профиля продольной составляющей скорости для осесимметричной струи воздуха, истекающей в затопленное пространство.

Производят измерения распределения скорости в разных поперечных сечениях струи, изменения скорости на оси струи и изменение полуширины струи по длине струи.

10. Гидродинамическая устойчивость вращательного течения Куэтта

В работе изучается гидродинамическая неустойчивость течения между двумя соосными вращающимися цилиндрами.

Измеряется скорость вращения внутреннего цилиндра, при которой происходит потеря устойчивости течения, для заданной скорости вращения внешнего цилиндра.

Семестр: 7 (Осенний)

11. Исследование ламинарного пограничного слоя на пластине с помощью лазерного доплеровского измерителя скорости

В лабораторной работе исследуется профиль скорости потока в пограничном слое методом лазерного доплеровского измерения скорости.

В процессе работы студенты знакомятся с методом измерения скорости, основанном на эффекте Доплера.

Затем, с помощью данного метода, студенты проводят измерения в пограничном слое, определяют его толщину, устанавливают подобие профиля скорости вдоль пластины. Исследуют торможение потока перед пластиной.

12. Измерение осредненных и пульсационных характеристик турбулентного потока с помощью термоанемометра постоянной температуры

Целью лабораторной работы является экспериментальное изучение осредненных и пульсационных характеристик.

турбулентного потока с помощью термоанемометра постоянной температуры с нагретой нитью. Измерения проводятся.

в изотермической турбулентной затопленной струе. В процессе выполнения работы студенты знакомятся с некоторыми сведениями о турбулентных течениях, описанием термоанемометрического метода и аппаратуры, тарируют датчик термоанемометра, производят измерения профилей средней скорости и продольной пульсации скорости в нескольких поперечных сечениях в зоне смещения начального участка струи и на оси струи. На основе анализа полученных экспериментальных данных устанавливаются законы подобия в изучаемом потоке.

13. Генерация низкотемпературной плазмы электродуговыми плазмотронами

В настоящей лабораторной работе на примере плазмотрона постоянного тока ППТ-2 изучаются принципы работы.

и характеристики плазмотронов, методы измерения параметров плазменной струи.

14. Исследование взаимодействия концентрированных электронных пучков с твердым телом

Целью настоящей работы является ознакомление студентов с методами генерации высокоэнергетических электронных пучков (ЭП) и изучение основных механизмов взаимодействия ЭП с поверхностью твердых тел.

15. Измерение температуры тяжелых частиц в газовом разряде по спектру излучения второй положительной системы N₂

Цель работы состоит в ознакомлении со спектральными методами измерения температуры тяжелых частиц в газоразрядной плазме и приобретении навыков работы со спектральным оборудованием. В описании излагается краткая теория формирования молекулярных спектров и дается обзор различных методов измерения температуры, в том числе в неравновесных условиях. Рассматривается метод измерения вращательной температуры молекулы N₂ в тлеющем разряде по разрешенной структуре излучения $0 \rightarrow 0$ перехода 2+ системы азота и обсуждается связь вращательной и поступательной температур.

16. Исследование распространения звуковых волн

Цель работы исследование многофазных сред, в том числе с наличием физико-химических превращений. В настоящей работе исследуется процесс распространения акустических волн в микропузырьковой среде. Определяется объем газосодержания в потоке жидкости акустическими методами.

17. Исследование режимов истечения из сопла Лаваля методом Particle Image Velocimetry

Целью данной работы является знакомство студентов с современным методом визуализации и диагностики потока Particle Image Velocimetry (PIV). В процессе работы студенты проводят измерения полей векторов скоростей методом PIV на выходе из сопла Лаваля сверхзвуковой вакуумно-атмосферной трубы периодического действия СТ-4, обрабатывают полученные данные в программном комплексе DaVis 7.2. Также проводится синхронная запись давлений в рабочей камере и на выходе из сопла. Измерения проводятся в режимах с недорасширением, перерасширением и в расчетном режиме. Анализируют полученные результаты. Сопоставляются режимы течения из сопла конкретному полю векторов скорости течения.

18. Экспериментальное исследование неустойчивости Релея-Тейлора

Целью лабораторной работы является экспериментальное исследование развития неустойчивости Реллея-Тейлора. Студенты фиксируют на скоростную камеру процесс развития неустойчивости. По экспериментальным данным определяют стадию неустойчивости, вычисляют число Атвуда.

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

Компьютер
Пирометр ЛОП-72
лазер He-Ne
Частотомер ч9-33
Осциллограф С9-8
Ударная труба УТ-2
Камера Photron FASTCAM SA4
Сверхзвуковая труба СТ-4
Аэродинамическая труба ВТ-1
Аэродинамическая труба малая АТМ-3
Вольтметр ВК 2-20
Вакуумметр ВИТ-1
Манометр МТ-6
Трубка Пито
датчики давления
АЦП National Instruments
Лазер Nd:YAG
Камера Imager Pro 2X
Трансзвуковая труба
Термоанемометр постоянного тока
зонд термоанемометра 55А 22
Вольтметр постоянного тока 55D 36
Фотоэлектронный умножитель
Спектрометр ДФС-52
Плазмотрон ППТ-2
Вольтметр постоянного тока В7-23

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 6 : Гидродинамика : учеб. пособие для вузов : рек. М-вом образования Рос. Федерации / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — 3-е изд., перераб. — М. : Физматлит, 1986, 1988, 2003, 2006 .— 736 с.
2. Физика газового разряда [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ю. П. Райзер .— 3-е изд., перераб. и доп. — Долгопрудный : Интеллект, 2009 .— 736 с.
3. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; отв. ред. Л. П. Питаевский .— 4-е изд., испр. — М. : Наука, 1989 .— 768 с.
4. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 3 : Электричество : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 4-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2002-2006, 2009 .— 656 с.

5. Прикладная газовая динамика [Текст] : в 2 ч. Ч. 1 : [учеб. пособие для вузов] / Г. Н. Абрамович .— 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1991 .— 600 с.
6. Прикладная газовая динамика [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 : [учеб. пособие для вузов] / Г. Н. Абрамович .— 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1991 .— 301 с.
7. Механика жидкости и газа [Текст] : учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский ; Рек. М-вом образования РФ .— 7-е изд., испр. — М. : Дрофа, 2003 .— 840 с.
8. Теория пограничного слоя [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Г. Шлихтинг ; пер. с нем. Г. А. Вольперта ; под ред. Л. Г. Лойцянского .— 6-е изд. — М. : Наука, 1974 .— 711 с.

Дополнительная литература

Фонд литературы кафедры

1. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 – 576 с.
2. Белоцерковский О.М., Опарин А.М. Численный эксперимент в турбулентности. От порядка к хаосу. М.: Наука. – 2000. – С. 224.
3. Липман Г.В., Рошко А. Элементы газовой динамики. — М.:ИЛ, 1960.
4. В.А. Волков, Б.К. Ткаченко. Методы исследования в физической газовой динамике. — М.:МФТИ, 1986.
5. Ф. Дразин Введение в теорию гидродинамической устойчивости. Пер. с англ. Г.Г. Цыпкина; Под ред. А.Т. Ильичева. — М.:Физматлит. 2005. 288 с.
6. Очкин В. Н. Спектроскопия низкотемпературной плазмы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 472 с.
7. Кошмаров Ю.А., Рыжков Ю.А. Прикладная динамика разреженного газа. – М.: Машиностроение. 1977. 184 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)

На лабораторных занятиях используются информационные технологии с применением лицензионных программных продуктов DaVis v.7.2, LabView SignalExpress 2010, Origin-Pro 7.0, Excel и MatLab.

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

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

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 учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к зачету и дифференцированному зачету.

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

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

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
курс:	<u>3</u>
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

6 (весенний) - Зачет

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

А.И. Крикунова, канд. физ.-мат. наук, доцент

В.А. Панов, канд. физ.-мат. наук, доцент

А.С. Савельев, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен осуществлять теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен проводить анализ проблем и задач, возникающих в избранной области технической физики
	ОПК-3.2 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований
	ОПК-3.3 Обладает способностью к освоению и применению новых знаний, полученных при изучении литературы, научных статей и других источников
ОПК-7 Способен самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней	ОПК-7.1 Понимает принципы работы используемой физической, аналитической и технологической аппаратуры
	ОПК-7.2 Владеет навыками безопасной работы с современной физической, аналитической и технологической аппаратурой
	ОПК-7.3 Проводит эксперимент с использованием физической, аналитической и технологической аппаратуры

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Лабораторный практикум по физической механике» обучающийся должен:

знать:

- основные физические величины, их определения, единицы измерения в системе единиц СИ, физические явления, основные гипотезы и законы механики сплошных сред и их приложения для решения различных прикладных задач;
- основные теоретические представления и модели течений жидкости, газов и плазмы;
- характер математических объектов аппарата механики сплошных сред;
- принципы математического описания движения газообразных и жидких сред.

уметь:

- применять физические законы для решения задач экспериментального и прикладного характера;
- составлять физико-математические модели процессов динамических течений жидкости и газов;
- решать соответствующие системы дифференциальных уравнений в частных производных с учетом граничных и начальных условий;
- формулировать математические модели рассматриваемых проблем механики, как системы взаимодействующих подмоделей, самостоятельно решать классические задачи;
- применять теоретический материал к анализу конкретных физических ситуаций, использовать различные методы решения типичных задач, анализировать полученные результаты;
- пользоваться основной и дополнительной литературой по курсу.

владеть:

- навыками выполнения физических экспериментов и оценки их результатов;
- приемами постановки и проведения физического эксперимента с последующим анализом и оценкой полученных результатов;
- навыками работы с современной измерительной аппаратурой;
- основными принципами автоматизации и компьютеризации процессов сбора и обработки информации;
- системой знаний о закономерностях явлений и процессов в механике сплошных сред, разбираться в физических процессах и формулировать феноменологические теории разделов механики сплошных сред;
- основными элементами техники безопасности при проведении экспериментальных исследований.

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

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Аттестация по дисциплине «Лабораторный практикум по физической механике» проводится в форме зачёта и дифференцированного зачёта (устного) в 6 и 7 семестре.

Промежуточный контроль применяется в следующих формах:

оценка за каждую выполненную лабораторную работу базируется на практических результатах, полученных в работе, и на ответах на контрольные вопросы.

Итоговой оценкой за все лабораторные работы является среднеарифметическое значение от всех работ.

Перечень контрольных вопросов, используемых для дифференцированного зачёта (вопросы для дифференцированного зачёта и зачёта аналогичны):

1. Дать физическое объяснение вида полученной в ходе экспериментов вольт-амперной характеристики плазмотрона ППТ-2.
2. Дать физическое объяснение вида полученных в ходе экспериментов зависимостей среднемассовой температуры плазменной струи и теплового потока в стенку объекта, помещенного в плазменную струю, от электрической мощности, вкладываемой в дугу, и от расхода рабочего тела.
3. Является ли плазма, генерируемая плазмотроном ППТ-2, идеальной?
4. Вычислить радиус Дебая для плазмы в условиях проводившихся экспериментов.
5. Является ли плазма, генерируемая плазмотроном ППТ-2, равновесной?
6. Рассчитать траекторный и проекционный пробеги электронов в материале образца в условиях проводившихся экспериментов
7. Найти условия перехода процесса разрушения материала образца в кинжальную форму (критическое значение плотности тока электронного пучка). Сравнить критические значения плотности тока электронного пучка для медной и графитовой мишеней.
8. Оценить давление и температуру паров в канале кинжального разрушения.
9. Определить степень зарядовой нейтрализации электронного пучка ионами остаточного газа.
10. Каков профиль распределения плотности тока электронного пучка в фокальном пятне?
11. В чем заключается принцип измерения распределения скорости в потоке методом PIV и в чем его преимущество по сравнению с другими методами анемометрии (термоанемометрия, лазерное доплеровское измерение скорости и др.)?
12. Чем определяется точность измерений методом PIV?
13. Какие режимы сверхзвукового истечения газа могут реализовываться, и чем они характеризуются?
14. Как определить величину боковой силы, действующей на сопло при перерасширенном режиме истечения, по полученным в ходе выполнения работы данным?
15. Расчет ударной трубы постоянного сечения. Условия на контактной поверхности и соотношения на фронте скачка уплотнения.
16. Инвариант Римана, вывод, применение в решениях нестационарных задач адиабатического течения газа.
17. Какие предположения используются при решении задачи о расчете ударной трубы переменного сечения?
18. Объяснить расхождение экспериментальных данных с теоретическим расчетом.
19. Уравнения состояния совершенного газа. Основные предположения, используемые при выводе.
20. Число Маха, дать определение, пояснить, как рассчитать.
21. Уравнение адиабаты для совершенного газа. Различные формы записи.

22. Формула Рэлея для М. Записать и дать необходимые пояснения.
23. Оптические и спектроскопические методы определения температуры.
24. Типы газовых разрядов.
25. Структура тлеющего газового разряда.
26. Спектры излучения. Механизмы уширения спектральных линий.
27. Структура затопленной струи, особенности протекания процессов в зоне смешения.
28. Уравнение Бернулли. Измерение скорости потока с помощью трубки полного напора.
29. Пи-теорема. Применение Пи-теоремы к задачам о математическом маятнике и о взрыве.
30. Определение зависимости скорости и ширины струи от продольной координаты с помощью Пи-теоремы.
31. Принцип работы термоанемометра постоянного сопротивления.
32. Теоретическое обоснование геометрического подобия профилей средней скорости и интенсивности турбулентности на основе Пи-теоремы.
33. Дать определение поступательно - вращательной релаксации молекул.
34. Оцените время поступательно – вращательной релаксации молекул газа.
35. Дать определение вращательно - вращательной релаксации молекул.
36. Оцените время вращательно – вращательной релаксации молекул газа.
37. Дать определение колебательно - колебательной релаксации двухатомных молекул.
38. Оцените время колебательно - колебательной релаксации двухатомных молекул газа.
39. Объясните принцип работы газодинамического лазера, работающего на смеси CO₂ и N₂.
40. Оценить влияние влажности на результаты эксперимента.
41. Дать определение понятия плазма.
42. Число Кнудсена, дать определение, пояснить, как рассчитать.
43. Дебаевский радиус экранирования – дать определение и пояснить как рассчитать.
44. Почему потенциал зонда, погруженного в плазму и отключенного от источника питания, отличается от потенциала окружающей плазмы?
45. Чем определяется величина тока насыщения в методе одиночного зонда Ленгмюра?
46. Чем определяется температура электронов и ионов в плазме и как ее измерить?
47. ВАХ одиночного зонда – особенности и как на основе ВАХ одиночного зонда определить параметры плазмы.
48. Уравнения Эйлера в гравитационном поле.
49. Вывод уравнения для изменения поверхностной функции $F(t, x, y, z)$.
50. Граничные и начальные условия.
51. Вывод волнового уравнения. Предположения.
52. Теория мелкой воды, конечной глубины и бесконечной глубины. Собственные значения.
53. Гармонический осциллятор. Понятие о резонансе. Амплитуда в точке резонанса. Затухание.
54. Методы пассивного и активного противодействия резонансу в длинных сосудах: ракетных баках, трюмах, цистернах.
55. Необходимые и достаточные условия разрушения тонкостенной конструкции.
56. Почему теория скачка уплотнения, основанная на уравнениях Навье-Стокса, дает существенные количественные расхождения с данными измерений свободномолекулярным зондом?
57. Почему используемый в лабораторной работе №11 зонд является свободномолекулярным?
58. Чем можно объяснить рост температуры свободномолекулярного зонда в непосредственной близости от цилиндра с уменьшением диаметра цилиндра?

59. Разреженность – это абсолютное или относительное состояние среды? (привести примеры).
60. Как влияет наличие пограничного слоя на стенках сопла на его выходные характеристики?
61. Почему нельзя определить число Маха в центре выходного сечения сопла при отсутствии изэнтропического ядра?

4. Критерии оценивания

Оценка «зачтено» выставляется студенту, продемонстрировавшему твердые, систематизированные знания материала при ответе на контрольные вопросы и имеющему хороший результат сдачи лабораторных работ.

Оценка «не зачтено» выставляется, если во время ответа, студент показывает, что не знает большей части основного содержания материалов, связанных с контрольными вопросами, имеет удовлетворительный результат сдачи лабораторных работ.

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания при ответе на контрольные вопросы и имеющему отличный результат сдачи лабораторных работ.

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания при ответе на контрольные вопросы и имеющему отличный результат сдачи лабораторных работ.

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему глубокие знания ответе на контрольные вопросы и имеющему отличный результат сдачи лабораторных работ.

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, продемонстрировавшему твердые, систематизированные знания материала при ответе на контрольные вопросы и имеющему хороший результат сдачи лабораторных работ.

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала при ответе на контрольные вопросы и имеющему хороший результат сдачи лабораторных работ.

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала при ответе на контрольные вопросы и имеющему хороший результат сдачи лабораторных работ.

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется, если во время ответа студент показывает нетвердое знание базовых положений, связанных с материалом контрольных вопросов, но имеет хороший результат сдачи лабораторных работ.

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется, если во время ответа студент показывает разрозненный характер знаний, нечеткие, но без грубых ошибок, формулировки базовых положений, связанных с материалом контрольных вопросов, имеет удовлетворительный результат сдачи лабораторных работ.

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется, если во время ответа, студент показывает, что не знает большей части основного содержания материалов, связанных с

контрольными вопросами, имеет удовлетворительный результат сдачи лабораторных работ.

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

При сдаче лабораторной работы обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку вопросов к данной лабораторной работе.

Общий зачет по семестру проводится по итогам сдачи лабораторных работ, предусмотренных программой лабораторного практикума по физической механике в данном семестре.

Дифференцированный зачет так же проводится по итогам сдачи всех лабораторных работ, предусмотренных программой лабораторного практикума по физической механике. Итоговая оценка за курс выставляется по результатам сдачи всех лабораторных работ курса (как среднеарифметическое).