

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики сплошных сред**



УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ, д.ф.-м.н
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА 2**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность(профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения: **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	108		32		54	18	2			2
Всего 108 часов / 3 зачетные единицы, из них: - контактная работа 36 часов Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу д.ф.-м.н., проф.

Цыбуля С. В.

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	6
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	6
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	6
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	7

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

Дисциплина «Газовая динамика 2» имеет своей целью дать студентам базовые знания по некоторым разделам газовой динамики и сформировать современное представление о физической сути процессов и явлений, происходящих в сплошных средах, таких как волны разрежения и сжатия, ударные волны, взаимодействие среды с препятствием и т.д., необходимые для освоения теоретических основ физических курсов, читаемых на кафедре физики сплошных сред. Кроме того, у студентов должно сформироваться умение применять рассмотренные математические модели для решения конкретных физических задач; умение использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области газовой динамики; умение приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные уравнения газовой динамики в двумерном случае, характерные особенности их решений, по сравнению с одномерным.</p> <p>Уметь пользоваться методом годографа, строить переход на плоскость годографа, получать уравнения газовой динамики в форме Чаплыгина.</p> <p>Владеть базовыми методами решения двумерных задач газовой динамики, методом комплексного потенциала для описания двумерных течений.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Газовая динамика 2» реализуется в весеннем семестре 3-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики сплошных сред. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы, 108 академических часов.

Для успешного освоения курса «Газовая динамика 2» студенты должны обладать предварительными знаниями основ общей физики, механики, термодинамики, физики сплошных сред, математического и функционального анализа, дифференциальных уравнений, векторного

и тензорного анализа. В свою очередь, учебный курс «Газовая динамика 2» предоставляет студентам теоретические знания и практические навыки, необходимые для изучения курсов «Методы математической физики», «Статистическая физика и термодинамика».

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

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	108		32		54	18	2			2
Всего 108 часов / 3 зачетные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: практические занятия, самостоятельная работа студента, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: самостоятельное выполнение заданий.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 54 часа;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

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

Дисциплина «Газовая динамика 2» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 3-ем курсе физического факультета НГУ в весеннем семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практиче- ские занятия		
1.	Плоские изэнтропические течения.	1-3	16		6	10	
2.	Плоские простые волны.	4-6	16		6	10	
3.	Косые ударные волны.	7-10	22		8	14	
4.	Методы ТФКП в газовой динамике.	11-13	16		6	10	
5.	Введение в задачи обтекания тел.	14-16	16		6	10	
6.	Групповая консультация		2				2
7.	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
8.	Экзамен		2				2
Всего			108		32	54	22

Программа практических занятий (32 часа)

Плоские изэнтропические течения (6 часов)

Общие свойства течений идеального газа. Теорема о сохранении циркуляции. Теорема Лагранжа о потенциальном течении. Интеграл Коши-Лагранжа. Стационарные течения. Интеграл Бернулли. Течение в сопле. Критическая скорость. Максимальная скорость.

Плоские простые волны (6 часов)

Характеристики. Угол Маха. Условия на характеристиках. Инварианты Римана. Линия перехода. Простые волны. Основные свойства простых волн. Волны сжатия и разрежения. Центрированные волны. Обтекание угла сверхзвуковым потоком (течение Прандтля-Майера).

Косые ударные волны (8 часов)

Возникновение разрывов. Косые ударные волны. Ударная поляра. Отражение ударной волны от жесткой стенки, регулярное и нерегулярное (маховское) отражение от свободной поверхности, регулярное и нерегулярное взаимодействие ударных волн. Обтекание клина сверхзвуковым потоком. Присоединенная и отошедшая ударная волна.

Методы ТФКП в газовой динамике (6 часов)

Приближение несжимаемой жидкости. Применение теории функций комплексного переменного. Источники, вихри, диполи.

Введение в задачи обтекания тел (6 часов)

Задача обтекания тела с циркуляцией. Подъемная сила. Постулат Жуковского-Чаплыгина. Парадокс Даламбера. Учет вязкости. Число Рейнольдса. Пограничный слой. Сила сопротивления плоской пластинки.

Самостоятельная работа студентов (72 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельное решение заданий	30
Изучение, повторение теоретического материала лекций в течении семестра	24
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Овсянников Л.В. Лекции по основам газовой динамики. Москва-Ижевск, ИКИ, 2003.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. ГИТТЛ, Москва, 1986.

5.2. Дополнительная литература

1. Курант Г., Фридрихс К. Сверхзвуковые течения и ударные волны. ИЛ, Москва, 1950.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Наука, Москва, 1973.
3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. - Теоретическая гидромеханика, часть 1. Физматлит, Москва, 1963, 583 стр.
4. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. - Теоретическая гидромеханика, часть 2. Физматлит, Москва, 1963, 728 стр.

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

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра: проверка заданий для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. По итогам завершения курса проводится экзамен по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основные уравнения газовой динамики в двумерном случае, характерные особенности их решений, по сравнению с одномерным.	Проверка заданий, экзамен.

<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь пользоваться методом годографа, строить переход на плоскость годографа, получать уравнения газовой динамики в форме Чаплыгина.</p>	<p>Проверка заданий, экзамен.</p>
<p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Владеть базовыми методами решения двумерных задач газовой динамики, методом комплексного потенциала для описания двумерных течений.</p>	<p>Проверка заданий, экзамен.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Газовая динамика 2».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.
-----------------------------------	--------	--	--	--	---

10.3 Задания для самостоятельного решения

Задание 1

(сдать с 23 марта по 1 апреля или раньше)

1. Шар движется с постоянной скоростью в воздухе. Определить давление и температуру в лобовой точке торможения в зависимости от числа Маха M . Рассмотреть дозвуковой и сверхзвуковой режимы движения.
2. Из большого сосуда с покоящимся идеальным газом (показатель адиабаты γ), находящимся под давлением P (плотность газа ρ), вытекает струя газа в атмосферу, где давление P_0 , из очень длинного цилиндрического насадка радиуса R_0 , вставленного внутрь сосуда (насадок Борда). Считая движение стационарным, определить расход газа. Вне струи газ покоится.
3. Пренебрегая изменением скорости по поперечному сечению (одномерное течение), определить площадь критического и выходного сечения осесимметричного сопла, разгоняющего газ из состояния покоя до сверхзвуковой скорости, число Маха M , скорость и температуру газа на выходе из сопла, если в покоящемся газе давление и температура P и T , соответственно, а давление на выходе P_0 . Расход газа – Q .
4. Найти течение, возникающее при обтекании пластинки ширины l бесконечного размаха (плоская задача), наклоненной под углом α к натекающему сверхзвуковому потоку. Определить подъемную силу и сопротивление.
5. Найти критический угол падения при отражении сильной ударной волны от жесткой стенки и от свободной поверхности.

Задание 2

(сдать с 13 по 20 мая или раньше)

1. Найти распределение давления на сфере радиуса R , движущейся в идеальной несжимаемой жидкости с ускорением w . Плотность жидкости ρ , давление на бесконечности P_0 , жидкость на бесконечности покоится. Найти силу, действующую на сферу со стороны жидкости.
2. В вертикальной трубе радиуса R , заполненной идеальной несжимаемой жидкостью плотности ρ , соосно с ней помещен полый цилиндр радиуса r и длины L , причем $L \gg R$. Определить ускорение, с которым будет всплывать полый цилиндр. Краевыми эффектами пренебречь. Масса стенок цилиндра пренебрежимо мала.
3. Внутри «жидкой, несжимаемой» планеты плотности ρ и радиуса R помещено твердое сферическое тело радиуса r на расстоянии a от центра, причем $r + a < R$. Найти выталкивающую силу, действующую на это тело.
4. В вертикальном цилиндрическом сосуде радиуса R идеальная несжимаемая жидкость плотности ρ приведена в осесимметричное потенциальное течение с циркуляцией Γ . Определить форму свободной поверхности, если на дне сосуда радиус полости равен r_0 .

5. Определить закон дисперсии для линейных волн на поверхности тяжелой жидкости конечной глубины с учетом поверхностного натяжения.
6. Найти профиль скорости и расход для стационарного течения вязкой несжимаемой жидкости между соосными трубами. Радиусы труб R_1 и R_2 , коэффициент вязкости η , перепад давления ΔP на длине L .

Список вопросов, выносимых на экзамен

1. Сплошная среда. Кинематика сплошной среды.
2. Переменные Эйлера и Лагранжа.
3. Производная по времени вдоль траектории частицы.
4. Производная от якобиана. Тензор скоростей деформации.
5. Перемещающаяся поверхность. Дифференцирование по времени интегралов по жидкому объему.
6. Перемещающаяся поверхность. Дифференцирование по времени интегралов по жидкому объему.
7. Уравнения, описывающие движение сплошной среды в интегральной (две формы – для жидкого и фиксированного объема) и дифференциальной форме.
8. Закон сохранения импульса. Тензор напряжений.
9. Закон сохранения энергии. Внутренняя энергия. Уравнение состояния. Энтропия. Энтальпия. Поток тепла. Поток энергии. Адиабатические течения. Изэнтропические течения. Адиабата Пуассона.
10. Уравнения газовой динамики для плоского случая.
11. Слабые разрывы и характеристики уравнений газовой динамики. Скорость звука.
12. Сильные разрывы. Ударные волны. Законы сохранения на фронте ударной волны.
13. Адиабата Гюгонио. Скорость перемещения фронта ударной волны.
14. Основные свойства ударного перехода. Приближенные условия на разрыве в случае сильных и слабых ударных волн.
15. Уравнения одномерного изэнтропического течения, характеристики. Условия на характеристиках. Инварианты Римана.
16. Простые волны. Критерий простой волны.

-
1. Сила сопротивления плоской пластинки.
 2. Учет вязкости. Число Рейнольдса.
 3. Пограничный слой.
 4. Парадокс Даламбера.
 5. Подъемная сила. Постулат Жуковского-Чаплыгина.
 6. Приближение несжимаемой жидкости.
 7. Обтекание клина сверхзвуковым потоком. Присоединенная и отошедшая ударная волна.
 8. Отражение ударной волны от жесткой стенки, регулярное и нерегулярное (маховское) отражение от свободной поверхности, регулярное и нерегулярное взаимодействие ударных волн.
 9. Косые ударные волны. Ударная поляра.
 10. Обтекание угла сверхзвуковым потоком (течение Прандтля-Майера). Возникновение разрывов.
 11. Волны сжатия и разрежения. Центрированные волны.
 12. Инварианты Римана. Линия перехода.
 13. Характеристики. Угол Маха. Условия на характеристиках.
 14. Стационарные течения. Интеграл Бернулли. Течение в сопле. Критическая скорость. Максимальная скорость.
 15. Теорема Лагранжа о потенциальном течении. Интеграл Коши-Лагранжа.

Пример билета:

1. Уравнения газовой динамики для плоского случая.
2. Косые ударные волны. Ударная поляра.

Форма билета к экзамену представлена на рисунке

МИНОБРНАУКИ РОССИИ	
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)	
Физический факультет	
БИЛЕТ № _____	
1.	
2.	
Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/	(подпись)
« ____ » _____ 20 ____ г.	

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Газовая динамика 2»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного