

**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**



Рабочая программа дисциплины

Дополнительные главы газовой динамики

направление подготовки: **03.04.02 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
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы,
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

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 (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	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.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

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

Дисциплина «Дополнительные главы газовой динамики» имеет своей целью обучение магистрантов теоретическим основам газовой динамики и формирование современного представления 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.

Цели курса – сформировать у студентов определенную систему знаний, навыков и умений в постановке и решении задач, связанных с использованием специализированных знаний в области физики для освоения профильных физических дисциплин и способность проводить научные экспериментальные исследования в избранной области - в части освоения результатов и методов газовой динамики, фундаментальной науки, лежащей в основе многих современных технологий. Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные уравнения движения сплошной среды и основные методы применения теории функций комплексного переменного в плоских задачах газовой динамики; иметь представления об особенностях процессов обтекания тел, в зависимости от модели жидкости (вязкость, сжимаемость).</p> <p>Уметь пользоваться законами газовой динамики для решения простейших задач, выводить систему уравнений, описывающую движение сплошной среды, пользоваться интегральными законами сохранения, применять к ней приближения, в частности, приближение газовой динамики.</p> <p>Владеть методами решения задач о простых и ударных волнах, их основных свойствах, распаде произвольного разрыва, а также асимптотическими методами в теоретических задачах газовой динамики.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Дополнительные главы газовой динамики» является одной из дисциплин по выбору по направлению подготовки 03.04.02 Физика (профиль подготовки «Общая и фундаментальная физика»). Дисциплина «Дополнительные главы газовой динамики» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой

подготовки в рамках программ бакалавриата. Студенты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны обладать предварительными знаниями основ общей физики, механики, термодинамики, физики сплошных сред, математического и функционального анализа, дифференциальных уравнений, векторного и тензорного анализа.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

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
2	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные 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: лекции, самостоятельная работа студента, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- 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 «Дополнительные главы газовой динамики» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ в первом семестре.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студен- тов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Преобразование годографа.	1	3	2		1	
2	Общее решение в плоскости годографа.	2	3	2		1	
3	Взаимодействие волн разрежения.	3	3	2		1	
4	Слабые ударные волны.	4	3	2		1	
5	Теория коротких волн.	5	3	2		1	
6	Асимптотика слабых ударных волн.	6	3	2		1	
7	Уравнение Бюргера.	7	3	2		1	
8	Ширина ударных волн.	8	3	2		1	
9	Уравнение Чаплыгина.	9	3	2		1	
10	Струйные течения. Околосзвуковое при- ближение.	10	3	2		1	
11	Уравнение Трикоми.	11	3	2		1	
12	Приближение несжимаемой жидкости.	12	3	2		1	
13	Кумулятивные струи.	13	3	2		1	
14	Вихревые движения. Вихревая пара. Вихрь Чаплыгина. Вихрь Хилла.	14	5	2		3	
15	Волны на поверхности жидкости. Ли- нейная теория.	15	3	2		1	
16	Дисперсия. Приближение мелкой воды. Уравнение Кортевега-де Вриза.	16	3	2		1	
17	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18
18	Консультации перед экзаменом		2				2
19	Экзамен		2				2
Всего			72	32		18	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

1. Преобразование годографа. Потенциальное движение сжимаемого газа. Переход к координатам годографа. (2 часа)
2. Общее решение в плоскости годографа. Стационарные простые волны. (2 часа)
3. Взаимодействие волн разрежения. Характеристики плоского стационарного течения. РУ-диаграмма взаимодействующих волн. (2 часа)
4. Слабые ударные волны. Ударная адиабата для волн слабой интенсивности, ее график и свойства. (2 часа)

5. Теория коротких волн. Асимптотическое решение для избыточного давления на фронте одномерных ударных волн. Диапазон применимости коротких волн. (2 часа)
6. Асимптотика слабых ударных волн. Скачок энтропии в УВ слабой интенсивности как функция скачка давления. Доказательство теоремы Цемплена для УВ слабой интенсивности. (2 часа)
7. Уравнение Бюргерса. Невязкий случай. Уравнение Хопфа – простейшее уравнение, описывающее разрывные течения. (2 часа)
8. Ширина ударных волн. Учет вязкости и теплопроводности газа для определения структуры и толщины переходного слоя. Решение для слабых ударных волн. (2 часа)
9. Уравнение Чаплыгина. Общая задача о двухмерном стационарном движении сжимаемого газа. (2 часа)
10. Струйные течения. Околосвуковое приближение. (2 часа)
11. Уравнение Трикоми. Переход через звуковую скорость. Решения уравнения Трикоми вблизи неособых точек звуковой поверхности. (2 часа)
12. Приближение несжимаемой жидкости. Кумулятивные струи. Схема возникновения, расчет параметров кумулятивной струи. (2 часа)
13. Вихревые движения. Вихревая пара. Вихрь Чаплыгина. Вихрь Хилла. (2 часа)
14. Волны на поверхности жидкости. Линейная теория. Различные механизмы образования волн (капиллярный, гравитационный и т.д.). Цунами. Бор. Внутренние волны. (2 часа)
15. Дисперсия. Приближение мелкой воды. Работа с масштабами. Получение уравнений мелкой воды из уравнений Навье-Стокса. Консервативная форма. Аналогия с уравнениями газовой динамики. (2 часа)
16. Уравнение Кортевега-де Вриза. Точные решения в виде стационарных нелинейных волн, в том числе солитонного типа. Автономные решения. (2 часа)

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Решение заданий	18
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Овсянников Л.В. Лекции по основам газовой динамики. Москва-Ижевск, ИКИ, 2003., ISBN 5-93972-201-6 (45 экз.)

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

2. Курант Г. Сверхзвуковые течения и ударные волны. ИЛ, Москва, 1950. (1 экз.)
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Наука, Москва, 1973. (3 экз.)

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 используются аудитории, оборудованные всем необходимым для чтения лекций (доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор), в том числе 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 успеваемости

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе семестра путем проведения выборочных опросов и проверки заданий, самостоятельно решенных магистрантами.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию 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. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

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 решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать основные уравнения движения сплошной среды и основные методы применения теории функций комплексного переменного в плоских задачах газовой динамики; иметь представления об особенностях процессов обтекания тел, в зависимости от модели жидкости (вязкость, сжимаемость).	Опрос в начале каждой лекции, экзамен.

<p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Уметь пользоваться законами газовой динамики для решения простейших задач, выводить систему уравнений, описывающую движение сплошной среды, пользуясь интегральными законами сохранения, применять к ней приближения, в частности, приближение газовой динамики.</p> <p>Владеть методами решения задач о простых и ударных волнах, их основных свойствах, распаде произвольного разрыва, а также асимптотическими методами в теоретических задачах газовой динамики.</p>	<p>Опрос в начале каждой лекции, экзамен.</p>
---	---	---

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Дополнительные главы газовой динамики»

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 1.2	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 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Задания для самостоятельного решения:

Задание 1

(сдать с 24 октября по 1 ноября или раньше)

1. Показать, что при движении сплошной среды элемент площади, состоящий из одних и тех же частиц, изменяется согласно следующему равенству $\frac{d}{dt}(dS_i) = \frac{\partial V_k}{\partial x_k} dS_i - \frac{\partial V_k}{\partial x_i} dS_k$, где $dS_i = e_{ikl} \cdot dx_{1k} dx_{2l}$, $(\vec{n} dS = d\vec{r}_1 \times d\vec{r}_2)$.
2. В полубесконечной трубе, закрытой с левого конца, поршень массы M с площадью поперечного сечения S отделяет камеру длины L . В камере находится сжатый газ плотности ρ_0 под давлением P_0 ($\gamma = 3$). Справа от поршня вакуум, движение поршня начинается от покоя. Определить траекторию поршня.
3. По жидкости (плотность ρ , скорость звука c) распространяется плоская ударная волна сжатия с максимальным давлением P . Давление падает линейно от максимального до нуля. Длина импульса L . При подходе волны к свободной поверхности (свободная поверхность параллельна поверхности фронта) возникает волна разрежения, создающая отрицательное давление (напряжение) в жидкости. Пусть жидкость выдерживает отрицательные нагрузки, не превышающие по абсолютной величине значения P_* . Тогда при достижении в волне разрежения отрицательного напряжения такой величины происходит разрыв жидкости (явление откола). Определить в линейном приближении (акустика) сколько слоев жидкости оторвется, если $P = nP_*$? Какова толщина оторвавшихся слоев?
4. Рассмотреть задачу о точечном взрыве в газе, начальная плотность которого меняется по закону $\rho_0 = Ar^{-k}$, где A – постоянная. Определить значение давления непосредственно за фронтом ударной волны в зависимости от расстояния от места взрыва. Рассмотреть плоский, цилиндрический и сферический случай.
5. В рамках теории коротких волн рассмотреть следующую задачу. В трубу, заполненную покоящимся газом с давлением P_0 и плотностью ρ_0 (показатель адиабаты γ), с постоянной скоростью U ($U \ll C_0$) вдвигается поршень на длину l , после чего останавливается. Определить движение газа.
6. Найти решение задачи о сверхзвуковом обтекании угла в околосвуковом приближении.

Задание 2

(сдать с 13 по 20 декабря или раньше)

1. Вокруг покоящегося в идеальной несжимаемой жидкости кругового цилиндра радиуса R создано осесимметричное потенциальное течение с циркуляцией Γ . Как будет двигаться цилиндр, если его отпустить при условии, что он полый, а жидкость с плотностью ρ находится в одномерном поле тяжести?
2. В идеальной несжимаемой жидкости имеется пара свободных вихревых параллельных нитей с одинаковыми по величине, но противоположными по знаку интенсивностями. Найти движение вихрей. Найти границу атмосферы вихря.
3. Показать, что в безграничной вязкой несжимаемой жидкости величина вихревого импульса остается неизменной при условии, что завихренность убывает на бесконечности достаточно быстро.
4. Рассмотреть задачу о разрушении плотины в приближении "мелкой" воды.
5. Определить закон дисперсии для линейных волн на поверхности полого потенциального вихря, соосного с цилиндрической трубой заданного радиуса.
6. Для вихря, рассмотренного в предыдущей задаче, получить уравнения, описывающие движение жидкости в приближении "мелкой" воды.

Список вопросов, выносимых на экзамен

1. Преобразование годографа. Переход к координатам годографа.
2. Общее решение в плоскости годографа. Стационарные простые волны.
3. Взаимодействие волн разрежения. Характеристики плоского стационарного течения.
4. Ширина ударных волн. Учет вязкости и теплопроводности газа для определения структуры и толщины переходного слоя.
5. Уравнение Чаплыгина. Общая задача о двухмерном стационарном движении сжимаемого газа.
6. Уравнение Трикоми. Переход через звуковую скорость.
7. Уравнение Трикоми. Решения уравнения Трикоми вблизи неособых точек звуковой поверхности.
8. Приближение несжимаемой жидкости.
9. Вихревые движения. Вихревая пара.
10. Вихрь Чаплыгина.
11. Вихрь Хилла.
12. Волны на поверхности жидкости. Цунами.
13. Волны на поверхности жидкости. Бор.
14. Волны на поверхности жидкости. Внутренние волны
15. Приближение мелкой воды. Консервативная форма уравнений.
16. Уравнение Кортевега-де Вриза. Точные решения в виде стационарных нелинейных волн, в том числе солитонного типа.
17. Уравнение Кортевега-де Вриза. Автомодельные решения.

1. Уравнение Бюргерса. Невязкий случай. Уравнение Хопфа – простейшее уравнение, описывающее разрывные течения.
2. Кумулятивные струи. Схема возникновения, расчет параметров кумулятивной струи.
3. Приближение мелкой воды. Работа с масштабами. Получение уравнений мелкой воды из уравнений Навье-Стокса.
4. Асимптотика слабых ударных волн. Скачок энтропии в УВ слабой интенсивности как функция скачка давления.
5. Ударная адиабата для волн слабой интенсивности, ее график и свойства.
6. Асимптотическое решение для избыточного давления на фронте одномерных ударных волн.
7. RU-диаграмма взаимодействующих волн разрежения.
8. Доказательство теоремы Цемплена для УВ слабой интенсивности.
9. Диапазон применимости коротких волн.

Пример экзаменационного билета

1. Приближение мелкой воды. Консервативная форма уравнений.
2. Ударная адиабата для волн слабой интенсивности, ее график и свойства.

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 «Дополнительные главы газовой динамики»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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