

**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 аэрофизики и газовой динамики**



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

Рабочая программа дисциплины

ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА СТАЦИОНАРНЫХ И НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ

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
7	36	26	4		4				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 32 часа										
Компетенции ПК-1										

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

С. В. Цыбуля

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.	4
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.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
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.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
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 «Газовая динамика стационарных и нестационарных процессов» представляет собой начальный курс, предназначенный для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области механики жидкости и газа, который имеет своей целью дать основные понятия и подходы к решению задач дозвуковой и сверхзвуковой аэро-газодинамики, дать практические навыки выполнения качественных и количественных оценок параметров основных газодинамических течений, научить разбираться в физике явлений газовой динамики, необходимые для освоения теоретических основ физических курсов, читаемых на кафедре аэрофизики и газовой динамики.

Цель курса – познакомить студентов-физиков, специализирующихся на кафедре аэрофизики и газовой динамики, с основными понятиями и физическими принципами, лежащими в основе дозвуковой и сверхзвуковой аэродинамики, а также навыкам выполнения оценок и решения простых задач в рамках модели идеального газа.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>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>	<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 теоретические основы научного исследования в области дозвуковой и сверхзвуковой аэродинамики; воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; понимать основной математический аппарат, который используется в данной физической дисциплине; понимать свойства и структуру физических процессов, происходящих в газовой среде.</p> <p>Уметь решать типичные задачи газовой динамики и аэродинамики на основе стандартных алгоритмов решения; объяснять причинно-следственные связи физических процессов; формулировать выводы и приводить примеры; разбираться в используемых методах; подбирать математический аппарат для решения конкретной физической задачи.</p> <p>Владеть методами работы с информацией из современных и зарубежных источников в области аэрогазодинамики; прикладными программами для изучения объекта научного исследования; методами приближенного качественного описания физических процессов;</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками решения усложненных задач газовой динамики на основе приобретенных знаний.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Газовая динамика стационарных и нестационарных процессов» реализуется в осеннем семестре 4-го курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений, элементы теории групп и др.), а также спецкурсов кафедры (Теоретическая аэрогидромеханика 1, Теоретическая аэрогидромеханика 2). Освоение дисциплины «Газовая динамика стационарных и нестационарных процессов» необходимо при подготовке и выполнении выпускной квалификационной работы

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
7	36	26	4		4				2	
Всего 36 часа / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 32 часа										
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, практические занятия, задания, самостоятельная работа студента, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: сдача заданий по разделам курса лекций.

Промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачетная единица, 36 академических часов

- Занятия лекционного типа – 26 часов.
- Практические занятия – 4 часа.
- Самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 4 часа.
- Промежуточная аттестация (дифференцированный зачет) – 2 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, дифференцированный зачет) составляет 32 часа.

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

Дисциплина «Газовая динамика стационарных и нестационарных процессов» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 7 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачётную единицу, 36 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Основные понятия. Законы сохранения. Уравнение Бернулли.	1-2	4	3		1	
2.	Двумерные стационарные течения несжимаемой жидкости. Теория крыла.	3-4	4	3		1	
3.	Стационарные течения сжимаемого газа. Методы ускорения потока	5	2	2			
4.	Нестационарные течения газа. Инварианты Римана.	6-7	4	4			
5.	Течения в волнах сжатия и разрежения. Возникновение ударных волн.	8-9	4	3		1	
6.	Прямые скачки уплотнения. Взаимодействие скачков.	10-11	4	3		1	
7.	Наклонные скачки уплотнения. Течение Прандтля-Майера	12-13	4	4			
8.	Линейные теории дозвукового и сверхзвукового обтекания крыла.	14	2	2			
9.	Гиперзвуковое обтекание. Модели гиперзвукового приближения.	15	4	2	2		
10.	Прием заданий	16	2		2		
11.	Дифференциальный зачет.	17	2				2
Итого:			36	26	4	4	2

Программа и основное содержание лекций

Раздел 1. Основные понятия. Законы сохранения. Уравнение Бернулли. (3 часа)

Введение в основные понятия газодинамики идеальной жидкости: идеальная жидкость, элементарный объем, адиабатические и изоэнтропические течения, вихревой шнур, вихревая линия, линия тока, траектория движения. Вывод уравнений Эйлера, Вывод уравнения Бернулли.

Раздел 2. Двумерные стационарные течения несжимаемой жидкости. Теория крыла. (3 часа)

Двумерные безвихревые движения несжимаемой жидкости. Применение комплексной переменной и комплексного потенциала. Элементарные и составные течения. Теорема Жуковского. Теория крыла бесконечного размаха.

Раздел 3. Стационарные течения сжимаемого газа. Методы ускорения потока. (2 часа)

Законы сохранения сжимаемого газа, изоэнтропические соотношения. Методы ускорения сжимаемого потока.

Раздел 4. Нестационарные течения газа. Инварианты Римана. (4 часа)

Волны малой амплитуды, звук. Волны конечной амплитуды. Инварианты Римана и их связь с волнами конечной амплитуды. Характеристики и законы сохранения в нестационарных течениях.

Раздел 5. Течения в волнах сжатия и разрежения. Возникновение ударных волн. (3 часа)

Применение инвариантов Римана при нестационарном истечении и сжатии. Течения в центрированных волнах расширения и изоэнтропические соотношения для нестационарных течений. Метод характеристик. Задача о поршне.

Раздел 6. Прямые скачки уплотнения. Взаимодействие скачков. (3 часа)

Соотношения на прямом скачке уплотнения. Ударная адиабата и ее свойства. Связь газодинамических параметров на прямом скачке уплотнения. Взаимодействие скачков друг с другом и скачка со свободной границей.

Раздел 7. Наклонные скачки уплотнения. Течение Прандтля-Майера. (4 часа)

Связь газодинамических параметров на наклонном скачке уплотнения. Ударная поляра. Применение Ударной поляры для решения газодинамических задач с ударными волнами. Течение в волнах расширения. Расчет подъемной силы и сопротивления профиля в сверхзвуковом потоке.

Раздел 8. Линейные теории дозвукового и сверхзвукового обтекания крыла. (2 часа)

Влияние сжимаемости потока на подъемную силу и сопротивление тонких крыльев. Правило Прандтля, соотношение Аккрета.

Раздел 9. Гиперзвуковое обтекание. Модели гиперзвукового приближения. (2 часа)

Модели газодинамики при гиперзвуковом обтекании тел. Гиперзвуковая нестационарная аналогия. Теория Ньютона. Взрывная аналогия.

Программа практических занятий (4 часа)

Занятие 1. Прием заданий (2 часа)

Занятие 2. Прием заданий (2 часа)

Самостоятельная работа студентов (4 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	2
Прием заданий	2

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука. 1987.
2. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Физматлин 1963, 1966.

5.2. Дополнительная литература

1. Маслов А. А., Миронов С. Г., Поплавская Т. В. Введение в динамику вязкого газа. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010.
2. Маслов А. А., Миронов С. Г. Динамика вязкого газа в примерах и задачах. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010.
3. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука. 1976.

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Маслов А. А., Миронов С. Г., Поплавская Т. В. Введение в динамику вязкого газа. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010.
2. Маслов А. А., Миронов С. Г. Динамика вязкого газа в примерах и задачах. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010.

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 используется

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 «Газовая динамика стационарных и нестационарных процессов» используются специальные помещения:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

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

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 успеваемости студента предусматривает текущий контроль посещения занятий, выполнения заданий.

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 в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области газовой динамики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференциальном зачете. Вопросы подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Знания обучающегося оценивается по «пятибалльной» шкале:

- «отлично» - необходимо выполнить четыре задания и ответить на шесть качественных вопросов по материалу дисциплины;
- «хорошо» - достаточно выполнить два задания и ответить на шесть качественных вопросов по материалу дисциплины;
- «удовлетворительно» - требует выполнить хотя бы одно из четырех заданий и ответить хотя бы на три качественных вопроса по материалу дисциплины.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p>Знать теоретические основы научного исследования в области дозвуковой и сверхзвуковой аэродинамики; воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; понимать основной математический аппарат, который используется в данной физической дисциплине; понимать свойства и структуру физических процессов, происходящих в газовой среде.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь решать типичные задачи газовой динамики и аэродинамики на основе стандартных алгоритмов решения; объяснять причинно-следственные связи физических процессов; формулировать выводы и приводить примеры; разбираться в используемых методах; подбирать математический аппарат для решения конкретной физической задачи.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</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 методами работы с информацией из современных и зарубежных источников в области аэрогазодинамики; прикладными программами для изучения объекта научного исследования; методами приближенного качественного описания физических процессов; навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками решения усложненных задач газовой динамики на основе приобретенных знаний.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>

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

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 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Группа заданий 1 (несжимаемая жидкость)

- Трубку длиной $2h$ согнули пополам под углом 90° и укрепили так, как показано на рисунке. Трубку полностью заполнили жидкостью, зажимая пальцами торец **b** и небольшое отверстие **a** вблизи сгиба. В какой-то момент пальцы убрали и из торца **b** и отверстия **a** начала вытекать жидкость. На какую высоту поднимется фонтан жидкости из отверстия **a** в первый момент времени после того, как убрали пальцы? Влиянием диаметра трубки и влиянием наличия радиуса сгиба пренебречь.
- В поверхность жидкости плотностью ρ под внешним давлением P_0 , в поле тяжести с ускорением g входит вихревая линия с циркуляцией Γ . Найти форму воронки в жидкости.

3. Водяные часы «клепсидры» имеют форму вертикального сужающегося цилиндрического сосуда с отверстием площадью s внизу. Найти форму сосуда (зависимость его радиуса от осевой координаты) чтобы уровень воды смещался вниз с постоянной скоростью.
4. Согнутая трубка заполнена водой. Трубка опирается своим углом на поверхность таким образом, что ось одного ее плеча составляет с поверхностью угол α , а другого – β . Вода залита до высоты h над поверхностью. Найти период колебаний воды в трубке после отклонения уровней воды от равновесного значения.
5. В вертикально расположенной трубе конической формы с коэффициентом конусности α вниз стационарно течет жидкость. Верхний уровень жидкости поддерживается постоянным, а через нижний конец трубы радиусом r жидкость постоянно стекает вниз. Расстояние между верхним уровнем и нижним концом трубы равно h . Найти распределение давления на стенки трубы в направлении ее оси.
6. В цилиндрическом сосуде налита жидкость до высоты h_0 . Затем сосуд вместе с жидкостью приводится во вращение с частотой ω и у его дна открывается небольшое отверстие, через которое жидкость выливается наружу. Найти скорость истечения жидкости из сосуда.
7. В первоначально пустой цилиндрический сосуд с площадью основания S с высоты H стекает струя жидкости с секундным расходом Q . Найти зависимость от времени силы, действующей на основание сосуда.
8. В сосуде с круглым отверстием в дне радиуса r вниз истекает струя жидкости. При этом уровень жидкости в сосуде поддерживается постоянным и равен H . Найти зависимость радиуса струи от расстояния от дна сосуда.
9. В вертикальном замкнутом цилиндрическом сосуде с площадью основания S и высотой H налита жидкость до высоты h_0 . Остальное пространство сосуда заполнено воздухом с давлением P_0 . У дна сосуда открывается отверстие с сечением σ и жидкость начинает выливаться. Найти зависимость скорости истечения жидкости от времени.
10. Вертикальный цилиндр с откаченным от воздуха объемом, площадью основания S и высотой H погружен под действием постоянной силы в жидкость на глубину h_0 . Внизу цилиндра открывается отверстие с площадью σ и жидкость начинает поступать внутрь цилиндра. За какое время цилиндр полностью погрузится в жидкость?
11. Показать, что течение типа пограничного слоя является вихревым.
12. Показать, что течение типа вихревой точки является потенциальным.
13. Описать процедуру поиска положения центра вихря с помощью термоанемометра используя теорему Стокса.
14. Получить уравнения для линий тока и потенциала для течения, образованного совмещением центров источника с расходом Q и вихревой точки с циркуляцией Γ , качественно нарисовать их.
15. На источник с расходом Q натекает равномерный поток со скоростью u_∞ . Найти положение точки остановки и уравнение нулевой линии тока, исходящей из точки остановки.
16. Дипольный источник величиной m перпендикулярен натекающему равномерному потоку со скоростью u_∞ . Найти положение точки остановки.
17. Найти точку остановки при обтекании вихревой точки с циркуляцией Γ равномерным потоком со скоростью u_∞ .
18. Найти точку остановки при обтекании двух одинаковых источников с расходом Q потоком со скоростью u_∞ , если соединяющая их линия перпендикулярна равномерному набегающему потоку, расстояние между источниками $2h$.
19. Найти точку остановки при обтекании равномерным потоком со скоростью u_∞ двух одинаковых противовращающихся вихревых точек с циркуляцией Γ , расположенных на линии перпендикулярной потоку. Расстояние между источниками $2h$.
20. Пусть тонкий профиль в виде сегмента круга обтекается равномерным потоком без угла атаки. В приближении малости возмущения потока, с помощью уравнения Бернулли показать, что его подъемная сила описывается формулой Жуковского.

21. На крыло, установленное под углом атаки α , натекает поток с плотностью ρ_∞ и скоростью u_∞ . Сзади крыла на расстоянии L и выше его на величину h мгновенно возникает вихревая точка с интенсивностью Γ . Найти относительное изменение подъемной силы крыла. Размером крыла пренебречь.
22. На крыло, установленное под углом атаки α , натекает поток с плотностью ρ_∞ и скоростью u_∞ . Сзади крыла на расстоянии L мгновенно возникает газодинамический диполь перпендикулярный потоку с интенсивностью m . Найти относительное изменение подъемной силы крыла. Размером крыла пренебречь
23. Нарисовать качественную зависимость скорости от координаты вдоль поверхности треугольника, обтекаемого потоком идеальной несжимаемой жидкости со скоростью u_∞ .
24. В безграничной несжимаемой жидкости плотностью ρ и давлением P_0 имеется сферическая полость начального радиуса a . В некоторый момент времени она начинает схлопываться с начальной скоростью жидкости на ее границе u_1 . Найти величину максимального давления жидкости при схлопывании сферической полости.

Группа заданий 2 (сжимаемая жидкость)

1. Из бесконечно большого замкнутого объема наполненного газом с параметрами P_0, ρ_0 через отверстие площадью S газ стационарно вытекает в пространство с давлением P . Найти зависимость расхода от отношения P_0/P и нарисовать качественно эту зависимость.
2. Через геометрическое сопло текут два слоя несмешивающихся газов с показателями адиабаты γ_1 и γ_2 . Найти условия на давления торможения для этих газов, когда они оба достигнут сверхзвуковой скорости.
3. Найти связь между углом падения и преломления звука на границе, разделяющей две изотермические области с разными скоростями течения, области с нулевой скоростью, но разными температурами.
4. В торце длинного узкого цилиндрического объема, находящегося в вакууме, мгновенно возникает отверстие и через него начинает истекать газ. Качественно нарисовать график расхода газа от времени.
5. В боковой стенке длинного узкого цилиндрического объема, находящегося в вакууме, мгновенно возникает отверстие и через него начинает истекать газ. Качественно нарисовать график расхода газа от времени, если отверстие смещено относительно поперечной оси симметрии объема.
6. Дать физическое объяснение тому, что максимальная скорость нестационарного истечения больше максимальной скорости стационарного истечения газа.
7. Тупое тело движется в газе с давлением P_∞ и плотностью ρ_∞ со скоростью U_∞ . Найти давление в лобовой точке тела для случая $M_\infty \ll 1$ $M_\infty \gg 1$.
8. Преобразовать условия на скачке уплотнения из системы, связанной с ударной волной, в лабораторную систему.
9. Трубка полного давления движется из потока за прямым скачком уплотнения в поток перед ним. Нарисовать качественный график давления P'_0 .
10. Найти отношение давления после и давления перед отраженной от стенки ударной волны для случая $M_\infty \gg 1$ и $M_\infty \cong 1$.
11. На свободную границу падает волна сжатия и волна разрежения. Качественно описать картины течения.
12. Из плоского сопла истекает недорасширенная струя. Качественно описать границу струи, форму и положения ударных волн, объяснить причины их появления и поведения.
13. Из плоского сопла истекает перерасширенная струя. Качественно описать границу струи, форму и положения ударных волн, объяснить причины их появления и поведения.

14. Симметричное ромбовидное крыло под нулевым углом атаки в сверхзвуковом потоке медленно догоняет прямой скачок уплотнения. Показать, что после вхождения задней кромки этого крыла в скачок он будет совершать продольные колебания относительно линии своего движения, не обгоняя и не отставая от него (эффект поплавка).
15. Клин с двумя углами сжатия обтекается сверхзвуковым потоком. Дать качественное описание возникающего поля течения.
16. Торцев продольного потоку цилиндра обтекается гиперзвуковым потоком. Найти угол наклона ударной волны и продольное распределение давления вблизи торца цилиндра в приближении взрывной аналогии.

Вопросы для дифференциального зачета по теме дисциплины.

1. Каковы отличия движений жидких объемов в механике сплошной среды и тел в обычной механике? В чем отличия уравнений, описывающих движение сплошной среды и тел в обычной механике?
2. Приведите примеры кардинального отличия результатов, даваемых моделью сплошной среды и моделью газа из частиц.
3. Что такое идеальный газ и в каком случае можно использовать эту модель сплошной среды?
4. Что такое идеальный газ, совершенный газ, баротропный газ.
5. Напишите уравнения Эйлера для двумерных течений.
6. Каков критерий, определяющий понятие элементарного объема?
7. Что такое вихревая линия/точка, что такое вихревой шнур и понятие циркуляции?
8. Что такое траектория движения, линия тока, ее уравнение и условия ее существования?
9. В чем суть первой теоремы Гельмгольца?
10. Показать графически, что $\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)$ – скорость угловой деформации жидкого объема, а $\left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}\right)$ - вращение жидкого объема.
11. В чем суть второй теоремы Гельмгольца и что такое соленоидальное поле течения?
12. В чем суть теоремы Стокса?
13. Что такое потенциальное течение и понятие потенциальной функции, условие ее существования?
14. Что такое потенциальное течение и понятие функции тока, условие ее существования и чему она соответствует по физике?
15. Какова цель введения комплексного потенциала и использования комплексных переменных в механике жидкости?
16. Назовите элементарные типы течений несжимаемой идеальной жидкости для построения более сложных.
17. Справедливо ли уравнение Бернулли при нестационарном движении и почему?
18. Справедливо ли уравнение Бернулли в вихревом течении и почему?
19. В чем суть теоремы Жуковского?
20. Что такое постулат Чаплыгина-Жуковского и зачем он нужен?
21. Какова природа сопротивления крыла конечного размаха в идеальной жидкости и откуда оно возникает?
22. В чем заключается ошибка Ньютона при определении подъемной силы?
23. Какие бывают типы сопел и каков основной физический процесс ускорения газа в различных соплах?
24. Какие условия налагаются на течение при выводе соотношений для всех типов сопел?

25. Почему нельзя получить сверхзвуковую скорость в сопле с трением?
26. Напишите изоэнтропические соотношения для температуры, скорости звука, плотности и давления при стационарном течении сжимаемого газа.
27. Какова цель введения Риманом функции давления при выводе инвариантов Римана?
28. Какой из вариантов Римана описывает волну сжатия $R+u$ или $R-u$ и показать это?
29. Как волны сжатия формируют ударную волну и почему волны разрежения не могут сформировать ударную волну разрежения? Проиллюстрировать это графически.
30. Напишите изоэнтропические соотношения для температуры, скорости звука, плотности и давления при нестационарном течении сжимаемого газа.
31. Почему максимальная скорость газа в нестационарном течении больше максимальной скорости при его стационарном течении?
32. Что такое угол Маха и как построить его с помощью циркуля и линейки при заданной скорости потока и скорости звука?
33. Почему уравнения для ударной волны записываются в виде соотношений на разрыве, а не в виде дифференциальных уравнений?
34. Запишите соотношения на скачке в системе координат ударной волны.
35. Запишите соотношения на скачке в лабораторной системе координат.
36. Каковы основные отличия ударной адиабаты Гюгонио от адиабаты Пуассона?
37. Что такое линия Рэлея на ударной адиабате и что она показывает?
38. Как графически показать соотношение внутренней и кинетической энергии на ударной адиабате?
39. Как графически показать, что на ударной адиабате происходит рост энтропии?
40. Как графически показать, что серия слабых скачков уплотнения эквивалентна сжатию по адиабате Пуассона?
41. В чем суть теоремы Цемплена и дополнительного условия к ней?
42. Что такое соотношение Прандтля на прямой ударной волне?
43. В чем преимущество скоростного отношения по сравнению с числом Маха?
44. При каких условиях за косым скачком уплотнения будет дозвуковое течение? Показать это на ударной поляре.
45. Как меняется ударная поляра при стремлении числа Маха к бесконечности или к единице?
46. Что такое сильный и слабый скачок на клине? Предельный угол разворота потока на клине.
47. Как найти угол наклона ударной волны к потоку на клине с помощью ударной поляры? Описать процедуру.
48. Показать с помощью ударной поляры возникновение маховского отражения ударной волны от поверхности. Описать процедуру.
49. Проиллюстрировать с помощью (x, t) диаграммы взаимодействие догоняющих ударных волн.
50. Проиллюстрировать с помощью (x, t) диаграммы падение ударных волн на свободную границу.
51. Что такое течение Прандтля – Майера и как ведут себя в нем линии тока.
52. Какова процедура нахождения параметров потока в течении Прандтля - Майера, если начальное число Маха больше единицы?
53. Какова процедура определения подъемной силы крыла в сверхзвуковом потоке?
54. Нарисуйте картину обтекания сверхзвуковым потоком пластины под углом атаки.
55. Нарисуйте картину течения при сверхзвуковом обтекании двойного клина.
56. В чем суть правила Прандтля-Глауэрта?
57. Что такое соотношение Аккерета?
58. Почему по линейной теории сопротивление крыла равно бесконечности при $M = 1$?
59. В чем суть метода нестационарной аналогии при гиперзвуковом обтекании?
60. Почему при стремлении числа Маха к бесконечности становится верен метод расчета Ньютона?

61. Что такое взрывной метод при гиперзвуковом обтекании тупых тел?

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 стационарных и нестационарных процессов».
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