

**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**



**Рабочая программа дисциплины
ДИНАМИКА ВЯЗКОГО ГАЗА, ТУРБУЛЕНТНОСТИ И СТРУЙ**

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
8	108	26	4		56	18	2			2
Всего 108 часов / 3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 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.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

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

Дисциплина "Динамика вязкого газа, турбулентности и струй" представляет собой начальный курс динамики движения вязкого газа, предназначенный для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области аэрофизики и газовой динамики.

Цель данного курса – ознакомление студентов с особенностями течения при учете вязкости и методами оценки сопротивления трения и нагрева тел при обтекании их потоком жидкости и газа. Выделены проблемы, имеющие первостепенное значение в работах, связанных с изучением течения реальных газов. Основное внимание уделено описанию течения газа с доминирующим влиянием диссипативных эффектов, вызванных наличием у газа внутреннего трения – вязкости. Некоторые вопросы, описание которых для сжимаемых сред громоздко, проанализированы на примере несжимаемой жидкости. В курсе выделены отдельные проблемы, иллюстрирующие влияние вязкости среды наиболее наглядно и дающие представление об основных методах решения задач, важных для практического использования.

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 представления о физике влияния диссипативных процессов на особенности течения жидкости и газа; корректную постановку физической задачи динамики вязкого газа (основные уравнения и граничные условия); свойства и модели жидкости и газов; основы кинематики и динамики жидкостей и газов; основы теории слоистых течений; основные понятия теории гидродинамической устойчивости, причины возникновения турбулентных режимов и методов управления течениями; полуэмпирические модели турбулентности и приемы их применения к конкретным задачам; современные модели турбулентных течений; методики расчета сопротивления и нагрева тел в газовом потоке; физику формирования струйных течений и акустику струй.</p> <p>Уметь провести оценки влияния вязкости на течение, оценить сопротивление трения и тепловые потоки, влияние сжимаемости и пространственности течения; пользоваться уравнениями динамики вязкого газа, ставить математически корректно задачи и</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>граничные условия; рассчитывать простейшие течения сжимаемого газа; оценивать характеристики пограничного слоя при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях потока; определять добавочное аэродинамическое сопротивление, возникающее за счет вязкости и тепловые потоки к телу.</p> <p>Владеть методами теории динамики вязкого газа; математическими приемами постановки задач и граничных условий; простейшими приемами оценки характеристик пограничного слоя при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях потока, добавочного аэродинамического сопротивления, возникающего за счет вязкости и тепловые потоки к телу.</p>

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями способов воздействия на течение в пограничном слое с целью снижения сопротивления вязкого трения и способов снижения аэродинамического нагрева аппаратов, летящих с большими скоростями. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институтах, в котором студенты планируют проходить научную практику. Материал курса увязывается с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками (электродинамика, высшая алгебра и т.д.) и спецкурсами, параллельно изучаемыми по данной специальности (Теоретическая аэрогидромеханика, Методы аэрофизического эксперимента, Вычислительная аэрогидродинамика, Газовая динамика стационарных и нестационарных процессов).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина "Динамика вязкого газа, турбулентности и струй" реализуется во втором 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 «Теоретическая аэрогидромеханика 1», «Теоретическая аэрогидромеханика 2», математика (дифференциальное и интегральное исчисление, векторный и тензорный анализ) «Вычислительная аэрогидродинамика классика и современность-1». Освоение дисциплины "Динамика вязкого газа, турбулентности и струй" 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
8	108	26	4		56	18	2			2
Всего 108 часов / 3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 34 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, контрольная работа, коллоквиум, консультация, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контроль посещения лекций, проведение коллоквиума и контрольной работы, часть времени на лекциях отводится обсуждению со студентами практических задач.

- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 26 часов;
 - практические занятия – 4 часа;
 - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 56 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 34 часа.

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

Дисциплина «Динамика вязкого газа, турбулентности и струй», представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 8 семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 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.	Примеры точного решения уравнений динамики вязкого газа.	2	8	2		6	
2.	Ползущие движения.	3	8	2		6	
3.	Ламинарный пограничный 2 слой.	4	8	2		6	
4.	Автомодельные решения уравнений пограничного слоя.	5	8	2		6	
5.	Приближенные однопараметрические методы.	6	6	2		4	
6.	Стационарный пограничный слой на пластине в газовом потоке.	7	6	2		4	
7.	Контрольная по задачам пограничного слоя	8	2		2		
8.	Трехмерные пограничные слои.	9	6	2		4	
9.	Спутное течение за пластиной.	10	6	2		4	
10.	Гидродинамическая неустойчивость.	11	6	2		4	
11.	Турбулентные течения.	12	6	2		4	
12.	Коллоквиум	13	2		2		
13.	Свободная турбулентность.	14	6	2		4	
14.	Динамика струйных течений и излучение звука струям	15	6	2		4	
15.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации	16	18				18
16.	Консультация перед экзаменом		2				2
17.	Экзамен		2				2
Итого:			108	26	4	56	22

Программа и основное содержание лекций (26 часов)

Раздел 1. Введение. (2 часа)

Уравнения движения. Уравнение неразрывности. Уравнения Навье-Стокса. Уравнение энергии. Замыкание уравнений движения. Граничные и начальные условия. Безразмерная запись уравнений движения.

Раздел 2. Примеры точного решения уравнений динамики вязкого газа. (2 часа)

Примеры точного решения уравнений динамики вязкого газа. Обобщенное течение Куэтта. Течение Куэтта между нагретыми плоскостями. Течение Гагена-Пуазейля. Несколько замечаний о применимости полученных результатов.

Раздел 3. Ползущие движения. (2 часа)

Ползущие движения. Обтекание шара. Приближение Стокса. Обтекание шара. Приближение Озеена. Течение в слое смазки.

Раздел 4. Ламинарный пограничный 2 слой. (2 часа)

Ламинарный пограничный слой. Уравнения пограничного слоя. Уравнения Прандтля. Интегральные характеристики пограничного слоя. Отрыв пограничного слоя. Область применимости уравнений пограничного слоя.

Раздел 5. Автомодельные решения уравнений пограничного слоя. (2 часа)

Автомодельные решения уравнений пограничного слоя. Решения Фокнера-Скэн. Задача Блазиуса.

Раздел 6. Приближенные однопараметрические методы. (2 часа)

Приближенные однопараметрические методы. Интегральное условие импульсов. Метод Кармана-Польгаузена.

Раздел 7. Стационарный пограничный слой на пластине в газовом потоке. (2 часа)

Стационарный пограничный слой на пластине в газовом потоке. Распределение скорости. Интеграл Крокко.

Раздел 8. Трехмерные пограничные слои.

Трехмерные пограничные слои. Пространственный пограничный слой на скользящем крыле. Установившиеся осесимметричные пограничные слои. Пограничный слой на конусе в продольном сверхзвуковом потоке. Особенности развития возмущений в ударных слоях. (2 часа)

Раздел 9. Спутное течение за пластиной. (2 часа)

Спутное течение за пластиной.

Раздел 10. Гидродинамическая неустойчивость. (2 часа)

Гидродинамическая неустойчивость. Метод малых возмущений. Приближение параллельного течения. Уравнение Орра-Зоммерфельда. Задача на собственные значения. Модели расчета положения ламинарно-турбулентного перехода.

Раздел 11. Турбулентные течения. (2 часа)

Турбулентные течения. Уравнения Рейнольдса. Гипотеза Буссинеска. “Путь перемешивания” Прандтля. Гипотеза подобия Кармана. Универсальные законы распределения скоростей. Турбулентное течение в трубах. Связь между законом сопротивления и распределением скоростей. Универсальные законы распределения скоростей для больших чисел Рейнольдса. Универсальный закон сопротивления для гладких труб при больших числах Рейнольдса. Турбулентный пограничный слой на плоской пластине

Раздел 12. Свободная турбулентность. (2 часа)

Свободная турбулентность. Развитие во времени слоя раздела. Плоский след. Спутное течение за решетками из стержней.

Раздел 13. Динамика струйных течений и излучение звука струям. (2 часа)

Динамика струйных течений и излучение звука струям. Моделирование микро- и нанотечений.

Программа практических занятий (4 часа)

Занятие 1. Контрольная по задачам пограничного слоя (2 часа)

Занятие 2. Коллоквиум по пройденным темам (2 часа)

Примеры точного решения уравнений динамики вязкого газа. Ползущие движения. Ламинарный пограничный 2 слой. Автомодельные решения уравнений пограничного слоя. Приближенные однопараметрические методы. Стационарный пограничный слой на пластине в газовом потоке.

Трехмерные пограничные слои. Спутное течение за пластиной. Гидродинамическая неустойчивость.

Самостоятельная работа студентов (56 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	8
Подготовка к контрольной работе	4
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	24
Решение задач для самостоятельного решения	20
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Маслов А. А., Миронов С.Г., Поплавская Т.В. Введение в динамику вязкого газа. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969.
3. Лойцянский Л. Г. Ламинарный пограничный слой. М.: Физматлит., 1962.
1. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970. Т.1, 2. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977.

5.2. Дополнительная литература

2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Физматлит, 1973.
3. Шкадов В. Я., Запрынов З. Д. Течения вязкой жидкости. М.: МГУ, 1984.

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. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
2. Маслов А. А., Миронов С.Г. Динамика вязкого газа в примерах и задачах. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
3. Маслов А. А., Миронов С.Г. Динамика вязкого газа в примерах и задачах. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>

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 «**Динамика вязкого газа, турбулентности и струй**» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, 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 осуществляется в ходе семестра: контроль посещения лекций, проведение коллоквиума и контрольной работы, часть времени на лекциях отводится обсуждению со студентами практических задач.

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 части использования полученных знаний в области теории динамики вязкого газа.

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.

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 основные представления о физике влияния диссипативных процессов на особенности течения жидкости и газа; корректную постановку физической задачи динамики вязкого газа (основные уравнения и граничные условия); свойства и модели жидкости и газов; основы кинематики и динамики жидкостей и газов; основы теории слоистых течений; основные понятия теории гидродинамической устойчивости, причины возникновения турбулентных режимов и методов управления течениями; полуэмпирические модели турбулентности и приемы их применения к конкретным задачам; современные модели турбулентных течений; методики расчета сопротивления и нагрева тел в газовом потоке; физику формирования струйных течений и акустику струй.</p>	<p>Проведение контрольных работ и коллоквиума, экзамен.</p>

<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь провести оценки влияния вязкости на течение, оценить сопротивление трения и тепловые потоки, влияние сжимаемости и пространственности течения; пользоваться уравнениями динамики вязкого газа, ставить математически корректно задачи и граничные условия; рассчитывать простейшие течения сжимаемого газа; оценивать характеристики пограничного слоя при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях потока; определять добавочное аэродинамическое сопротивление, возникающее за счет вязкости и тепловые потоки к телу.</p>	<p>Проведение контрольных работ и коллоквиума, 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 методами теории динамики вязкого газа; математическими приемами постановки задач и граничных условий; простейшими приемами оценки характеристик пограничного слоя при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях потока, добавочного аэродинамического сопротивления, возникающего за счет вязкости и тепловые потоки к телу.</p>	<p>Проведение контрольных работ и коллоквиума, экзамен.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Динамика вязкого газа, турбулентности и струй».

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	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.

			негрубых ошибок.	несущественных ошибок. Не 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

Контрольная работа

Типы заданий:

Задача 1.

В случае равномерного отсоса пограничного слоя на пластине образуется ассимптотический профиль отсасывания, не зависящий от продольной координаты. Определить профиль скорости, интегральные толщины пограничного слоя и напряжение трения.

Задача 2.

Определить наименьший темп роста давления, при котором может произойти, отрыв потока.

Задача 3.

Определить толщину потери энергии в пограничном слое $\Theta^* = \int_0^{\delta} u(1-u^2) dy$, где $u = u^*/U$.

Вывести уравнение для $\Theta^*(x)$.

Задача 4.

Рассчитать пограничный слой на пластине приближенно. Аппроксимировать распределение скорости в пограничном слое выражением $u = A \sin(By+C)$.

Задача 5.

Рассчитать пограничный слой в критической точке приближенно. Аппроксимировать распределение скорости в пограничном слое полиномом второй степени.

Задача 6.

Применить метод Польшаузена для течения над плоской пластиной $V(x) = V$, получить интегральные характеристики пограничного слоя.

Задача 7.

Вывести зависимость интегральных толщин пограничного слоя от числа Маха для теплоизолированной пластины. Считать, что число Прандтля $Pr = 1$, а $\mu = T$.

Примерный вариант контрольной работы

Задача 1.

Рассчитать пограничный слой на пластине приближенно. Аппроксимировать распределение скорости в пограничном слое выражением $u = A \sin(By+C)$.

Задача 2.

Рассчитать пограничный слой в критической точке приближенно. Аппроксимировать распределение скорости в пограничном слое полиномом второй степени.

Задача 3.

Применить метод Польшаузена для течения над плоской пластиной $V(x) = V$, получить интегральные характеристики пограничного слоя.

Вопросы на коллоквиум:

1. Уравнения движения. Уравнение неразрывности. Уравнения Навье-Стокса. Уравнение энергии. Замыкание уравнений движения. Граничные и начальные условия. Безразмерная запись уравнений движения.
2. Примеры точного решения уравнений динамики вязкого газа. Обобщенное течение Куэтта. Течение Куэтта между нагретыми плоскостями. Течение Гагена-Пуазейля. Несколько замечаний о применимости полученных результатов.
3. Ползущие движения. Обтекание шара. Приближение Стокса. Обтекание шара. Приближение Озеена. Течение в слое смазки.
4. Ламинарный пограничный слой. Уравнения пограничного слоя. Уравнения Прандтля. Интегральные характеристики пограничного слоя. Отрыв пограничного слоя. Область применимости уравнений пограничного слоя.
5. Автомодельные решения уравнений пограничного слоя. Решения Фокнера-Скэн. Задача Блазиуса.
6. Приближенные однопараметрические методы. Интегральное условие импульсов. Метод Кармана-Польшаузена.
7. Стационарный пограничный слой на пластине в газовом потоке. Распределение скорости. Интеграл Крокко.
8. Трехмерные пограничные слои. Пространственный пограничный слой на скользящем крыле. Установившиеся осесимметричные пограничные слои. Пограничный слой на конусе в продольном сверхзвуковом потоке. Особенности развития возмущений в ударных слоях.
9. Спутное течение за пластиной.
10. Гидродинамическая неустойчивость. Метод малых возмущений. Приближение параллельного течения. Уравнение Орра-Зоммерфельда. Задача на собственные значения. Модели расчета положения ламинарно-турбулентного перехода.

Примерные вопросы на экзамен

1. Понятие о нейтральной кривой.
2. Осредненные и пульсационные величины. Уравнения Рейнольдса.

3. Гидродинамическая теория смазки.
4. Понятия о турбулентном движении.
5. Пограничный слой на пластине. Задача Блазиуса.
6. Решения Фонкера-Скэн.
7. Свободная турбулентность (общие положения).
8. Спутное течение вдали от пластины (ламинарное).
9. Обтекание шара (поправка Озеена).
10. Закон подобия Рейнольдса как следствие уравнений движения.
11. Понятие толщины потери импульса и толщины вытеснения, их физический смысл.
12. Осредненные и пульсационные величины. Уравнение Рейнольдса.
13. Понятие пограничного слоя, его общие свойства.
14. Пространственный пограничный слой на скользящем крыле.
15. Ползущие движения (общие положения, постановка задачи).
16. Осесимметричный слой. Переменные Степанова-Манглера.
17. Универсальные законы распределения скоростей для больших чисел Рейнольдса.
18. Обтекание шара (задача Стокса).
19. Свободная турбулентность. Развитие во времени слоя раздела.
20. Свободная турбулентность. Плоский след.
21. Физический смысл отдельных членов уравнений движения и уравнения энергии. Типы граничных условий. Критерии подобия.
22. Основы подхода к расчету очень вязких течений. Физическое объяснение эффекта гидродинамической смазки. Оценить скорость снижения облака мелкодисперсных капель.
23. Закон Блазиуса для сопротивления плоской пластины.
24. Оценить влияние числа Маха на толщину пограничного слоя.
25. Пределы применимости решения для ламинарного следа.
26. Турбулентная вязкость. Ламинарный подслой. Физический смысл “длины пути смешения” у Прандтля. Гипотеза подобия турбулентных течений Кармана. Логарифмические законы распределения скоростей в турбулентных течениях. Кривые Никурадзе. Сопротивление плоской пластины с турбулентным пограничным слоем.
27. Примеры течений со свободной турбулентностью.
28. Структура недорасширенных, перерасширенных и расчетных струй.

-
1. Способы управления в пограничном слое.
 2. Касательные напряжения и отрыв пограничного слоя.
 3. Течение Хегена-Пуазейля в трубе.
 4. Уравнения Прандтля. Общие свойства пограничного слоя.
 5. Влияние шероховатости на сопротивление труб, песочная шероховатость.
 6. Переход и его связь с устойчивостью.
 7. Уравнение Лайтхилла. Шум турбулентных струй.
 8. Стационарный пограничный слой на пластине в газовом потоке. Преобразования Дородницына. Интеграл Крокко.
 9. Метод малых возмущений. Уравнение Орра-Зоммерфельда.
 10. Степенные законы распределения скоростей для турбулентных течений. Их связь с законом сопротивлений Блазиуса.
 11. Универсальный закон сопротивления для гладких труб при больших числах Рейнольдса.
 12. Турбулентный пограничный слой на пластине. Однопараметрический расчет на основе степенного распределения для скоростей.
 13. Свободная турбулентность. Спутное течение позади решетки из стержней.
 14. Законы подобия.
 15. «Путь перемешивания Прандтля».
 16. Основные идеи приближенного метода решения уравнений пограничного слоя.

17. Уравнения пограничного слоя в газе. Пределы применимости.
18. Линеаризация уравнений движения. Понятие нейтральной кривой. Собственные числа задачи гидродинамической устойчивости. Ламинарно-турбулентный переход пограничного слоя как следствие его неустойчивости.
19. Объяснить причины появления поперечных токов пограничного слоя на скользящем крыле. Оценить толщину пограничного слоя на конусе в газовом сверхзвуковом потоке.
20. Приближенная оценка сопротивления плоской пластины па основе метода Кармана - Польгаузена.
21. Основные допущения при выводе уравнений пограничного слоя. Полученные преимущества и упрощения. Физический смысл интегральных толщин пограничного слоя. Физические причины отрыва пограничного слоя. Асимптотический пограничный слой отсасывания.
22. Примеры слоистых течений. Расчет течения в кольцевом зазоре.

Примеры экзаменационных задач

Задача 1.

Рассматривается течение между двумя пластинами. На нижней пластине укреплен плавающий элемент – аэродинамические весы, измеряющие касательную силу. Пусть R – радиус чувствительного элемента, $2h$ – расстояние между пластинами, p_1 и p_2 – давление в зазоре в передней и задней точках элемента. Найти силу, которую покажут весы.

Задача 2.

Рассматривается течение между двумя неподвижными пластинами с одинаковой температурой T_0 . Течение осуществляется за счет перепада давления $\frac{dp}{dx} = p'$. Найти распределение температуры и максимальную температуру в потоке.

Задача 3.

Рассмотреть течение в кольцевом зазоре между двумя трубами радиуса R_1 и R_2 . Перепад давления Δp на длине трубы l задан. Найти распределение скорости в зазоре.

Задача 4.

В вертикальную трубу с внутренним радиусом R , заполненную вязкой жидкостью, вставлен невесомый цилиндр длиной L , радиусом меньшим R на величину h . При этом выполняются следующие неравенства: $L \gg R$ и $h \ll R$. Найти стационарную скорость всплывания цилиндра в трубе U .

Задача 5.

Облако мелкодисперсных частиц радиусом R равномерно опускается на землю. Оценить скорость снижения облака в зависимости от числа Рейнольдса Re .

Задача 6.

Найти положение максимума давления на опору в клиновидном зазоре (рис.8), если его высота определяется соотношением $h(x) = \delta(a-x)$.

Задача 7.

Две параллельные, круглые пластинки радиуса R расположены одна над другой на малом расстоянии h друг от друга и пространство между ними заполнено жидкостью. Пластинки сближаются со скоростью u , вытесняя жидкость. Найти силу сопротивления сближению пластинок.

Задача 8.

В случае равномерного отсоса пограничного слоя на пластине образуется асимптотический профиль отсасывания, не зависящий от продольной координаты. Определить профиль скорости, интегральные толщины пограничного слоя и напряжение трения.

Задача 9.

Определить наименьший темп роста давления, при котором может произойти отрыв потока.

Задача 10.

Определить толщину потери энергии в пограничном слое $\Theta^* = \int_0^{\delta} u(1 - u^2) dy$, где $u = u^*/U$.

Вывести уравнение для $\Theta^*(x)$.

Задача 11.

Рассчитать пограничный слой на пластине приближенно. Аппроксимировать распределение скорости в пограничном слое выражением $u = A \sin(By + C)$.

Задача 12.

Рассчитать пограничный слой в критической точке приближенно. Аппроксимировать распределение скорости в пограничном слое полиномом второй степени.

Задача 13.

Применить метод Польгаузена для течения над плоской пластиной $V(x) = V$, получить интегральные характеристики пограничного слоя.

Задача 14.

Вывести зависимость интегральных толщин пограничного слоя от числа Маха для теплоизолированной пластины. Считать, что число Прандтля $Pr = 1$, а $\mu = T$.

Задача 15.

Два сверхзвуковых потока с температурами торможения T_{0I} , T_{0II} и числом Маха M_I , M_{II} разделены тонкой пластиной. Оценить температуру пластины. Параметры торможения заданы, число Прандтля $Pr = 1$ и $\mu = T$. Дополнительное условие $Re_{11} = \frac{u_1}{\nu_1} = \frac{u_2}{\nu_2} = Re_{12}$.

Задача 16.

Тонкая пластина с температурой T_w обтекается сверхзвуковым потоком с числом Маха M и температурой торможения T_0 . Найти максимальную температуру в пограничном слое.

Задача 17.

Найти какому плоскому течению соответствует течение в окрестности критической точки, где $r(x) = x$; $U(x) = ux$.

Задача 18.

Доказать неустойчивость к малым возмущениям тангенциального разрыва между двумя слоями невязкой несжимаемой жидкости, текущими с разными скоростями.

Задача 19.

Вывести коэффициент сопротивления гладкой трубы для степенного распределения скорости. Показать, что при $n = 1/7$ получим закон Блазиуса.

Задача 20.

Найти распределение скорости на удаленном расстоянии за системой равноотстоящих стержней, исходя из выражения для турбулентного напряжения $\tau = \rho b k (U_{\max} - U_{\min}) \frac{\partial U}{\partial y}$.

Задача 21.

Найти распределение скорости на удаленном расстоянии от тела толщиной d . В качестве турбулентного напряжения использовать формулу Прандтля $\tau = \rho l^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2$.

Пример экзаменационного билета

1. Свободная турбулентность. Плоский след.
2. Уравнения пограничного слоя в газе. Пределы применимости.
3. Доказать неустойчивость к малым возмущениям тангенциального разрыва между двумя слоями невязкой несжимаемой жидкости, текущими с разными скоростями.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

МИНОБРНАУКИ РОССИИ	
<i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i>	
Физический факультет	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____	
1.	
2.	
3.	
Составитель _____ /Маслов А.А./	
	(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 «Динамика вязкого газа, турбулентности и струй»
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