

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Компьютерный практикум по основам гидродинамики
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики высокотемпературных процессов
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: С.А. Дьячков, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высокотемпературных процессов 04.04.2022

Аннотация

Курс посвящен теоретическим основам и практическому применению численных методов для решения различных задач гидродинамики. Рассматриваются основные понятия гидродинамики, уравнение переноса, уравнение Эйлера, методы численного решения уравнений гидродинамики с помощью разностных схем, применение сеточных и бессеточных методов дискретизации расчетной области, методы численного моделирования разрывных течений, а также вопросы использования уравнений состояния. Основное внимание в курсе уделяется специфическим вопросам программной реализации численных методов решения уравнений гидродинамики: метода конечного объема, метода конечных разностей и метода сглаженных частиц (SPH). В процессе обучения будут рассмотрены задачи переноса гладких и разрывных функций, задача о распаде разрыва в газе.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение основных численных методов решения уравнений гидродинамики и их применение при решении практических задач физики экстремальных состояний вещества.

Задачи дисциплины

- получение представлений о круге задач, решаемых с помощью гидродинамического моделирования;
- изучение методов конечного объема, конечных разностей и метода сглаженных частиц SPH;
- изучение численных схем интегрирования уравнений гидродинамики;
- изучение прикладного применения уравнений состояния веществ;
- моделирование задач переноса;
- моделирование разрывных течений с ударными волнами.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- уравнения механики сплошной сжимаемой среды;
- проблемы численного моделирования разрывных течений;
- понятие ударной волны и ее свойства;
- модели уравнений состояния идеального газа, линейно-упругой среды, ударно-сжатой среды;
- формулировку задачи Римана для уравнений гидродинамики;
- особенности сеточных и бессеточных методов численного решения задач гидродинамики.

уметь:

- реализовывать на компьютере метод конечного объема для уравнений гидродинамики;
- реализовывать на компьютере метод конечных разностей для уравнений гидродинамики;
- реализовывать на компьютере метод сплавленных частиц SPH для уравнений гидродинамики;
- моделировать на компьютере распространение ударных волн в газе;
- моделировать на компьютере задачу о высокоскоростном ударе;
- определять свойства материалов по ударно-волновым данным.

владеть:

- навыком объектно-ориентированного программирования на языке Python;
- навыком визуализации результатов моделирования на языке Python;
- навыком векторизации вычислений с использованием библиотеки NumPy;
- навыком работы с системой контроля версий git.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Обзор методов моделирования.		4		2
2	Синтаксис языка Python.		4		2
3	Уравнение переноса.		4		2
4	Уравнения гидродинамики.		2		2
5	Программная реализация.		2		1
6	Численные решения уравнений гидродинамики методом конечных разностей.		2		1
7	Схема решения уравнений гидродинамики методом сплавленных частиц SPH.		2		1
8	Решения задачи Римана в численных схемах.		2		1
9	Задача о распаде разрыва в газе.		2		1
10	Задачи о высокоскоростном ударе.		2		1
11	Подбор материальных констант.		4		1
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

1. Обзор методов моделирования.

Обзор методов моделирования задач гидродинамики, обсуждение их преимуществ и недостатков. Примеры практических задач из области физики экстремальных состояний вещества. Обзор современных вычислительных комплексов и оборудования, программных комплексов для решения научных задач, языков программирования и возможностей численного моделирования. Возможности интерпретатора Python для высокопроизводительного численного моделирования.

2. Синтаксис языка Python.

Синтаксис языка Python. Основные типы данных в Python. Реализация пользовательских классов, функций и модулей. Структуры данных для гидродинамического моделирования

3. Уравнение переноса.

Уравнение переноса. Разностная схема для его решения на сетке. Программная реализация на Python. Моделирование переноса гладких и разрывных функций

4. Уравнения гидродинамики.

Уравнения гидродинамики. Задача Римана. Ударные волны. Уравнения состояния. Обзор методов дискретизации расчетной области: метод конечного объема, метод конечных разностей, метод сглаженных частиц SPH

5. Программная реализация.

Программная реализация численной схемы решения уравнений гидродинамики методом конечного объема

6. Численные решения уравнений гидродинамики методом конечных разностей.

Программная реализация численной схемы решения уравнений гидродинамики методом конечных разностей

7. Схема решения уравнений гидродинамики методом сглаженных частиц SPH.

Программная реализация численной схемы решения уравнений гидродинамики методом сглаженных частиц SPH

8. Решения задачи Римана в численных схемах.

Использование решения задачи Римана в численных схемах при моделировании задач с ударными волнами (метод Годунова)

9. Задача о распаде разрыва в газе.

Моделирование задачи о распаде разрыва в газе сеточными и бессеточными численными методами

10. Задачи о высокоскоростном ударе.

Моделирование задачи о высокоскоростном ударе сеточными и бессеточными численными методами

11. Подбор материальных констант.

Алгоритм подбора материальных констант по ударно-волновым данным с помощью гидродинамического моделирования

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

учебная аудитория, компьютеры и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. 685 с.
2. А. Г. Куликовский, Н. В. Погорелов, А. Ю. Семёнов. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, 656 с.
3. M. L. Wilkins Computer Simulation of Dynamic Phenomena. Springer, 1999, 243 с.

Дополнительная литература

1. А. В. Бушман, Г. И. Канель, А. Л. Ли, В. Е. Фортов. Теплофизика и динамика интенсивных импульсных воздействий. Черноголовка, 1988, 200 с.
2. J. R. Asay, M. Shahinpoor. High-pressure Shock Compression of Solids. Springer, 1992, 393 с.
3. E. F. Toro. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics. Springer, 1999, 619 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Курс лекций «Физика плазмы», <http://www.inp.nsk.su/chairs/plasma/sk/fpl.ru.shtml>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

не предусмотрены.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

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

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики высокотемпературных процессов
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	С.А. Дьячков, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Компьютерный практикум по основам гидродинамики» обучающийся должен:

знать:

- уравнения механики сплошной сжимаемой среды;
- проблемы численного моделирования разрывных течений;
- понятие ударной волны и ее свойства;
- модели уравнений состояния идеального газа, линейно-упругой среды, ударно-сжатой среды;
- формулировку задачи Римана для уравнений гидродинамики;
- особенности сеточных и бессеточных методов численного решения задач гидродинамики.

уметь:

- реализовывать на компьютере метод конечного объема для уравнений гидродинамики;
- реализовывать на компьютере метод конечных разностей для уравнений гидродинамики;
- реализовывать на компьютере метод сглаженных частиц SPH для уравнений гидродинамики;
- моделировать на компьютере распространение ударных волн в газе;
- моделировать на компьютере задачу о высокоскоростном ударе;
- определять свойства материалов по ударно-волновым данным.

владеть:

- навыком объектно-ориентированного программирования на языке Python;
- навыком визуализации результатов моделирования на языке Python;
- навыком векторизации вычислений с использованием библиотеки NumPy;
- навыком работы с системой контроля версий git.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Уравнение переноса.
2. Разностная схема решения.
3. Устойчивость решения.
4. Уравнения Эйлера для сплошной сжимаемой среды.
5. Задача Римана.
6. Дискретизация уравнений Эйлера методом конечных объемов
7. Дискретизация уравнений Эйлера методом конечных разностей
8. Дискретизация уравнений Эйлера методом сглаженных частиц SPH.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 бала - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 бала - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 бал - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.