

**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:	Гиперзвуковые прямоточные воздушно-реактивные двигатели. Процессы и характеристики
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 физической и химической механики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: Р.К. Селезнев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физической и химической механики 29.05.2020

Аннотация

Курс "Гиперзвуковые прямоточные воздушно-реактивные двигатели. Процессы и характеристики" предусматривает изучение теоретических основ газодинамики гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ГПВРД), применение методов компьютерной физики, основанных на подходах теории численных методов и математического моделирования к описанию структуры течения внутри ГПВРД.

Задачи курса:

- приобретение теоретических знаний о структуре течения и протекающих физико-химических процессах в ГПВРД;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики;
- изучение простейших методов решения уравнений компьютерной физики и постановки задач численного моделирования физических явлений;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области компьютерной физики при описании ГПВРД;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов компьютерной физики в применении к описанию работы ГПВРД.

По результатам освоения курса студент должен:

Уметь:

- пользоваться численными методами для решения фундаментальных и прикладных задач в области физики;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемой физической проблеме;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;

Владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и численного моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов численного моделирования и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой компьютерного исследования и решения теоретических и прикладных задач.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Вычислительная физика реагирующих потоков
2. Математические модели газодинамических процессов и их реализация
3. Конечно-объемная дискретизация уравнений Навье–Стокса на неструктурированных сетках
4. Конечно-разностные схемы расчета потоков
5. Реализация численных методов на многопроцессорных системах
6. Применение вычислительных технологий для решения прикладных задач
7. Расчетные сетки
8. Организация программного кода
9. Верификация результатов
10. Визуализация расчетных данных
11. Требования к параллельным алгоритмам и их реализации
12. Вычисления на графических процессорах
13. Течение в каверне с подвижной верхней стенкой

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение теоретических основ газодинамики гиперзвуковых прямооточных воздушно-реактивных двигателях (ГПВРД). Применение методов компьютерной физики, основанных на подходах теории численных методов и математического моделирования к описанию структуры течения внутри ГПВРД.

Задачи дисциплины

- приобретение теоретических знаний о структуре течения и протекающих физико-химических процессах в ГПВРД;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики;
- изучение простейших методов решения уравнений компьютерной физики и постановки задач численного моделирования физических явлений;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области компьютерной физики при описании ГПВРД;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов компьютерной физики в применении к описанию работы ГПВРД.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия современной компьютерной физики;
- современные проблемы компьютерной физики и химии;
- основные (базовые) методы компьютерной физики;
- математический аппарат теории численных методов.

уметь:

пользоваться численными методами для решения фундаментальных и прикладных задач в области физики;
 производить численные оценки по порядку величины;
 делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемой физической проблеме;
 получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;
 культурой постановки и численного моделирования физических задач;
 навыками грамотной обработки результатов численного моделирования и сопоставления с теоретическими данными;
 практикой компьютерного исследования и решения теоретических и прикладных задач.

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	Вычислительная физика реагирующих потоков	2			1
2	Математические модели газодинамических процессов и их реализация	4			2
3	Конечно-объемная дискретизация уравнений Навье–Стокса на неструктурированных сетках	2			1
4	Конечно-разностные схемы расчета потоков	2			1
5	Реализация численных методов на многопроцессорных системах	4			2
6	Применение вычислительных технологий для решения прикладных задач	2			1
7	Расчетные сетки	2			1
8	Организация программного кода	2			1
9	Верификация результатов	2			1
10	Визуализация расчетных данных	2			1
11	Требования к параллельным алгоритмам и их реализации	2			1
12	Вычисления на графических процессорах	2			1
13	Течение в каверне с подвижной верхней стенкой	2			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)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Вычислительная физика реагирующих потоков

Численное моделирование реагирующих потоков. Постановка задач и используемые подходы.

2. Математические модели газодинамических процессов и их реализация

Моделирование газодинамических процессов, Методы дискретизации основных уравнений.

3. Конечно-объемная дискретизация уравнений Навье–Стокса на неструктурированных сетках

Схема MUSCL, Дискретизация по времени.

4. Конечно-разностные схемы расчета потоков

Схемы низкого и высокого порядка. Схема расщепления по физическим факторам. Течение в каверне с подвижной стенкой.

5. Реализация численных методов на многопроцессорных системах

Требования к параллельным алгоритмам и их реализации. Хранение данных. Способы разбиения.

6. Применение вычислительных технологий для решения прикладных задач

Особенности реализации. Моделирование крупных вихрей неизотермической турбулентной струи. Начальные и граничные условия.

7. Расчетные сетки

Регулярные сетки. Блочные сетки. Гибридные сетки. Адаптивные сетки.

8. Организация программного кода

Функциональные подсистемы. Объектно-ориентированный подход. Связи между классами. Файлы и данные. Средства реализации.

9. Верификация результатов

Верификация результатов. Основные способы.

10. Визуализация расчетных данных

Методы визуализации. Численный шпирен. Численные теневые картины.

11. Требования к параллельным алгоритмам и их реализации

Требования к параллельным алгоритмам и их реализации. Применение.

12. Вычисления на графических процессорах

Вычисления на графических процессорах. Основные способы.

13. Течение в каверне с подвижной верхней стенкой

Течение в каверне с подвижной верхней стенкой. Примеры расчетов.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Суржиков С.Т. Физическая механика газовых разрядов. М.: ИПМех-МГТУ. 2006.
2. Суржиков С.Т. Тепловое излучение газов и плазмы. М.: ИПМех-МГТУ. 2004.
3. Федоренко Р.П. Введение в вычислительную физику. М.: МФТИ, 1994, 530 с.
4. Днестровский Ю.Н., Костомаров Д.П. Математическое моделирование плазмы.- М.: Наука, 1993
5. Андерсон, Дейл. Вычислительная гидромеханика и теплообмен
6. Волков К.Н., Емельянов В.Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012

Дополнительная литература

1. Самарский А.А. Введение в численные методы. - М: Наука, 1987
2. Четверушкин Б.Н. Математическое моделирование задач динамики излучающего газа. -М.: Наука, 1983
3. Жаблон К., Симон Ж.К. Применение ЭВМ для численного моделирования в физике. -М.: Наука, 1983.

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

Не используются

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

не предусмотрено.

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 физической и химической механики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	Р.К. Селезнев, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Гиперзвуковые прямоточные воздушно-реактивные двигатели. Процессы и характеристики» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия современной компьютерной физики;
- современные проблемы компьютерной физики и химии;
- основные (базовые) методы компьютерной физики;
- математический аппарат теории численных методов.

уметь:

пользоваться численными методами для решения фундаментальных и прикладных задач в области физики;
производить численные оценки по порядку величины;
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемой физической проблеме;
получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;
культурой постановки и численного моделирования физических задач;
навыками грамотной обработки результатов численного моделирования и сопоставления с теоретическими данными;
практикой компьютерного исследования и решения теоретических и прикладных задач.

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 по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Вопросу к итоговому коллоквиуму для дифференцированного зачета:

1. Моделирование газодинамических процессов, Методы дискретизации основных уравнений
2. Вычислительная физика реагирующих потоков
3. Численное моделирование реагирующих потоков. Постановка задач и используемые подходы
4. Математические модели газодинамических процессов и их реализация
5. Конечно-объемная дискретизация уравнений Навье–Стокса на неструктурированных сетках
6. Схема MUSCL, Дискретизация по времени

7. Конечно-разностные схемы расчета потоков
8. Применение вычислительных технологий для решения прикладных задач
9. Особенности реализации. Моделирование крупных вихрей неизотермической турбулентной струи. Начальные и граничные условия
10. Расчетные сетки. Регулярные сетки. Блочные сетки. Гибридные сетки. Адаптивные сетки
11. Организация программного кода
12. Функциональные подсистемы Объектно-ориентированный подход. Связи между классами. Файлы и данные. Средства реализации
13. Методы визуализации. Численный шпирен Численные теневые картины
14. Течение в каверне с подвижной верхней стенкой

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 балла - 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 балла - 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 балла - 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 балл - 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

Оценка по дифференцированному зачету выставляется по результатам итогового коллоквиума.