

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Аэротермодинамика гиперзвуковых летательных аппаратов
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

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

Программа обсуждена на заседании кафедры физической и химической механики 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Аэротермодинамика гиперзвуковых летательных аппаратов" предусматривает изучение теоретических основ аэротермодинамики гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА), применение методов компьютерной физики, основанных на подходах теории численных методов и математического моделирования к описанию структуры течения в области вокруг ГЛА.

Задачи курса:

- приобретение теоретических знаний о структуре течения и протекающих физико-химических процессах в области вокруг ГЛА;
- освоение студентами базовых знаний в области компьютерной физики;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований при описании аэротермодинамики ГЛА;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов компьютерной физики в применении описания полета ГЛА.

По результатам освоения курса студент 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.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Вычислительная физика реагирующих потоков
2. Имитационное моделирование в динамике газа и плазмы
3. Основы методов конечных разностей
4. Уравнения в частных производных
5. Основы метода конечных разностей
6. Применение метода конечных разностей для решения модельных уравнений
7. Основные уравнения механики жидкости и теплообмена
8. Численное моделирование ударных волн
9. Численное моделирование уравнений Навье-Стокса
10. Численные методы решения уравнений сечения невязкой жидкости
11. Численные методы решения уравнений типа уравнений пограничного слоя
12. Численные методы решения параболизированных уравнений Навье — Стокса
13. Методы построения расчетных сеток

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение теоретических основ аэротермодинамики гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА). Применение методов компьютерной физики, основанных на подходах теории численных методов и математического моделирования к описанию структуры течения в области вокруг ГЛА.

### Задачи дисциплины

- приобретение теоретических знаний о структуре течения и протекающих физико-химических процессах в области вокруг ГЛА;
- освоение студентами базовых знаний в области компьютерной физики;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований при описании аэротермодинамики ГЛА;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов компьютерной физики в применении описания полета ГЛА.

## 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			2
2	Имитационное моделирование в динамике газа и плазмы	2			2
3	Основы методов конечных разностей	2			2
4	Уравнения в частных производных	2			3
5	Основы метода конечных разностей	2			3
6	Применение метода конечных разностей для решения модельных уравнений	2			2
7	Основные уравнения механики жидкости и теплообмена	2			2
8	Численное моделирование ударных волн	2			2
9	Численное моделирование уравнений Навье-Стокса	2			2
10	Численные методы решения уравнений сечения невязкой жидкости	2			2
11	Численные методы решения уравнений типа уравнений пограничного слоя	4			3
12	Численные методы решения параболизированных уравнений Навье — Стокса	4			3
13	Методы построения расчетных сеток	2			2
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Вычислительная физика реагирующих потоков

Численное моделирование реагирующих потоков. Постановка задач и используемые подходы.

##### 2. Имитационное моделирование в динамике газа и плазмы

Общие принципы имитационного моделирования в динамике газа и плазмы.

##### 3. Основы методов конечных разностей

Постановка задач и обзор проблем.

##### 4. Уравнения в частных производных

Физическая классификация уравнений. Корректно поставленные задачи.

#### 5. Основы метода конечных разностей

Основные методы решения конечно-разностных уравнений при неявной аппроксимации. Разностные схемы для многомерных нестационарных модельных уравнений.

#### 6. Применение метода конечных разностей для решения модельных уравнений

Уравнение теплопроводности, Уравнение Лапласа.

#### 7. Основные уравнения механики жидкости и теплообмена

Уравнения Рейнольдса для турбулентных течений, введение в моделирование турбулентности.

#### 8. Численное моделирование ударных волн

Численное моделирование процессов на основе уравнений Навье-Стокса. Явные и неявные схемы для медленных течений. Различия в схемах для сжимаемых и несжимаемых течений.

#### 9. Численное моделирование уравнений Навье-Стокса

Уравнения Навье — Стокса в приближении тонкого слоя. Уравнения вязкого ударного слоя.

#### 10. Численные методы решения уравнений сечения невязкой жидкости

Уравнения Навье — Стокса для сжимаемой жидкости.

#### 11. Численные методы решения уравнений типа уравнений пограничного слоя

Конечно-разностные методы расчета двумерных и осесимметричных стационарных внешних течений.

#### 12. Численные методы решения параболизированных уравнений Навье — Стокса

Численное моделирование процессов на основе уравнений Навье-Стокса. Уравнения Навье — Стокса в приближении тонкого слоя.

#### 13. Методы построения расчетных сеток

Алгебраические методы. Методы, основанные на решении дифференциальных уравнений.

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, экраном.

### **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. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики. -М.: Наука, 1992
4. Федоренко Р.П. Введение в вычислительную физику. М.: МФТИ, 1994, 530 с.
5. Днестровский Ю.Н., Костомаров Д.П. Математическое моделирование плазмы.- М.: Наука, 1993
6. Андерсон, Дейл. Вычислительная гидромеханика и теплообмен

#### Дополнительная литература

1. Самарский А.А. Теория разностных схем.- М: Наука, 1977
2. Самарский А.А. Введение в численные методы. - М: Наука, 1987
3. Четверушкин Б.Н. Математическое моделирование задач динамики излучающего газа. -М.: Наука, 1985
4. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло.- М.: Наука, 1973
5. Калиткин Н.Н. Численные методы. - М.: Наука, 1978
6. Жаблон К., Симон Ж.К. Применение ЭВМ для численного моделирования в физике. -М.: Наука, 1983.
7. Марчук Г.И., Лебедев В.И. Численные методы в теории переноса нейтронов. М.: Атомиздат, 1981, 454 с.
8. Поттер Д. Вычислительные методы в физике.-М.: Наука, 1975
9. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982.
10. Марчук Г.И. Методы расщепления. М.: Наука. 1988.

#### **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 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)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	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 «Аэротермодинамика гиперзвуковых летательных аппаратов» 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

Вопросы к экзамену:

1. Происхождение модельных уравнений в частных производных.
2. Классификация численных методов: конечно-разностные методы, конечно-элементные методы, методы стохастического моделирования.
3. Основные конечно-разностные схемы, используемые при решении конечно-разностных уравнений.
4. Аппроксимация, устойчивость и сходимость.

5. Методы построения конечно-разностных уравнений.
6. Качественные свойства схем 1-го и высших порядков точности.
7. Основные методы решения конечно-разностных уравнений при неявной аппроксимации.
8. Разностные схемы для многомерных нестационарных модельных уравнений.
9. Методы конечных элементов.
10. Методы конечных объемов.
11. Численные модели газовой динамики.
12. Ударно-волновые процессы в механике сплошной среды.
13. Моделирование физико-химической кинетики в ударных волнах.
14. Численное моделирование процессов на основе уравнений Навье-Стокса.
15. Уравнения в естественных и динамических переменных.
16. Явные и неявные схемы для медленных течений.
17. Различия в схемах для сжимаемых и несжимаемых течений.
18. Численное моделирование реагирующих потоков.
19. Математические модели газодинамических, электродинамических и радиационных процессов в равновесной и неравновесной низкотемпературной плазме.
20. Диффузионно-дрейфовые модели в физике плазмы.
21. Имитационное моделирование в динамике газа и плазмы.
22. Понятие гиперзвукового потока.
23. Процессы протекающие при обтекании тела гиперзвуковым потоком.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Методы построения конечно-разностных уравнений.
2. Понятие гиперзвукового потока.

Пример 2.

1. Различия в схемах для сжимаемых и несжимаемых течений.
2. Основные конечно-разностные схемы, используемые при решении конечно-разностных уравнений.

#### 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**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.