

**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>	Численные модели физической механики
<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>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составили:

Р.К. Селезнев, канд. физ.-мат. наук

Д.А. Сторожев

Программа обсуждена на заседании кафедры физической и химической механики 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Численные модели физической механики" предусматривает изучение теоретических основ физической механики, основанных на подходах теории численных методов и математического моделирования.

Задачи курса:

- освоение студентами базовых знаний в области физической механики;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики и применение их к задачам физической механики;
- 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;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов компьютерной физики.

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. Развитие компьютерных моделей и программных комплексов, предназначенных для проведения фундаментальных и прикладных исследований физики и механики нелинейных и неравновесных сплошных сред, основанных на сопряжении *ab-initio*- и классических подходов физической механики
2. Использование нового поколения вычислительных методов и алгоритмов в разработке сопряженных двух- и трехмерных физико-химических и радиационно-газодинамических моделей на основе полных уравнений Навье-Стокса
3. Применение подходов физической механики для анализа явлений геофизики, астрофизики и физики высоких плотностей энергии
4. Анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований, которые могут быть предложены для формулировки тестовых задач (верификация и валидация) компьютерной физической и химической механики
5. Создание новых моделей физико-химической кинетики для компьютерного моделирования течений неравновесных сред
6. О методах решения уравнений химической кинетики
7. Численное моделирование электроразрядных явлений
8. Двухмерная численная модель тлеющего разряда
9. Модели переноса селективного теплового излучения для перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов

10. Двухмерная численная модель тлеющего разряда в магнитном поле
11. Модифицированная диффузионно-дрейфовая модель пеннинговского разряда
12. Численная модель расчета направленной спектральной излучательной способности горячих объемов газа
13. Численная модель для параболизированной системы уравнений Навье-Стокса

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение теоретических основ физической механики, основанных на подходах теории численных методов и математического моделирования.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области физической механики;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики и применение их к задачам физической механики;
- 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;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения методов и подходов компьютерной физики.

## 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-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	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:

- 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	Развитие компьютерных моделей физической механики	4			10
2	Использование нового поколения вычислительных методов.	6			10
3	Применение подходов физической механики.	4			10
4	Анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований.	6			10
5	Создание новых моделей.	4			10
6	Уравнения химической кинетики.	6			10
7	Численное моделирование электроразрядных явлений	4			2
8	Двухмерная численная модель тлеющего разряда	4			2
9	Модели переноса селективного теплового излучения для перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов	6			2
10	Двухмерная численная модель тлеющего разряда в магнитном поле	4			10
11	Модифицированная диффузионно-дрейфовая модель пеннинговского разряда	4			10
12	Численная модель расчета направленной спектральной излучательной способности горячих объемов газа	4			2
13	Численная модель для параболизированной системы уравнений Навье-Стокса	4			2
Итого часов		60			90
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	180 час., 4 зач.ед.
--------------------	---------------------

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

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Развитие компьютерных моделей физической механики

Развитие компьютерных моделей и программных комплексов, предназначенных для проведения фундаментальных и прикладных исследований физики и механики нелинейных и неравновесных сплошных сред, основанных на сопряжении *ab-initio*- и классических подходов физической механики.

##### 2. Использование нового поколения вычислительных методов.

Использование нового поколения вычислительных методов и алгоритмов в разработке сопряженных двух- и трехмерных физико-химических и радиационно-газодинамических моделей на основе полных уравнений Навье-Стокса и моделей переноса селективного теплового излучения для перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов.

##### 3. Применение подходов физической механики.

Применение подходов физической механики для анализа явлений геофизики, астрофизики и физики высоких плотностей энергии.

##### 4. Анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований.

Анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований, которые могут быть предложены для формулировки тестовых задач (верификация и валидация) компьютерной физической и химической механики.

##### 5. Создание новых моделей.

Создание новых моделей физико-химической кинетики для компьютерного моделирования течений неравновесных сред.

##### 6. Уравнения химической кинетики.

Методы решений уравнений химической кинетики различных порядков.

Семестр: 8 (Весенний)

##### 7. Численное моделирование электроразрядных явлений

Обзор и классификация физико-математических моделей, используемых при численном моделировании электро-разрядных явлений. Использование конечно-разностных методов и методов стохастического моделирования.

##### 8. Двухмерная численная модель тлеющего разряда

Вывод уравнений диффузионно-дрейфовой тлеющего разряда в осесимметричной геометрии. Конечно-разностная аппроксимация уравнений диффузионно-дрейфовой модели. Явные и неявные схемы.

##### 9. Модели переноса селективного теплового излучения для перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов

Обзор и классификация моделей переноса теплового излучения. Использование конечно-разностных методов и методов стохастического моделирования при численном моделировании излучения струй продуктов сгорания перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов.

#### 10. Двухмерная численная модель тлеющего разряда в магнитном поле

Вывод уравнений диффузионно-дрейфовой тлеющего разряда в магнитном поле в осесимметричной геометрии. Конечно-разностная аппроксимация уравнений диффузионно-дрейфовой модели. Явные и неявные схемы, консервативность. Параметр Холла.

#### 11. Модифицированная диффузионно-дрейфовая модель пеннинговского разряда

Описание физико-химических процессов, протекающих в плазме пеннинговского разряда. Формулировка уравнений модифицированной диффузионно-дрейфовой модели. Аппроксимация уравнений диффузионно-дрейфовой модели.

#### 12. Численная модель расчета направленной спектральной излучательной способности горячих объемов газа

Обзор и классификация моделей расчета направленной спектральной излучательной способности. Описание метода Монте-Карло.

#### 13. Численная модель для параболизированной системы уравнений Навье-Стокса

Формулировка уравнений параболизированной системы уравнений Навье-Стокса. Использование конечно-разностной модели при решении системы уравнений Навье-Стокса.

### 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. 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. Элементы физической механики, Бухман Н.С., 2006

#### Дополнительная литература

1. Самарский А.А. Теория разностных схем. - М: Наука, 1977
2. Самарский А.А. Введение в численные методы. - М: Наука, 1987

### 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)**

<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>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

**Разработчики:**

Р.К. Селезнев, канд. физ.-мат. наук

Д.А. Сторожев



## 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-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Численные модели физической механики» 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 дифференцированному зачету:

1. Развитие компьютерных моделей и программных комплексов, предназначенных для проведения фундаментальных и прикладных исследований физики и механики нелинейных и неравновесных сплошных сред, основанных на сопряжении *ab-initio*- и классических подходов физической механики
2. Использование нового поколения вычислительных методов и алгоритмов в разработке сопряженных двух- и трехмерных физико-химических и радиационно-газодинамических моделей на основе полных уравнений Навье-Стокса и моделей переноса селективного теплового излучения для перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов
3. Применение подходов физической механики для анализа явлений геофизики, астрофизики и физики высоких плотностей энергии
4. Анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований, которые могут быть предложены для формулировки тестовых задач (верификация и валидация) компьютерной физической и химической механики.
5. Создание новых моделей физико-химической кинетики для компьютерного моделирования течений неравновесных сред
6. Методы решений уравнений химической кинетики

Вопросы к экзамену:

1. Классификация численных моделей газовых разрядов
2. Двухмерная численная модель тлеющего разряда
3. Модели переноса селективного теплового излучения
4. Двухмерная численная модель тлеющего разряда в магнитном поле
5. Модифицированная диффузионно-дрейфовая модель пеннинговского разряда
6. Численная модель расчета направленной спектральной излучательной способности горячих объемов газа основанная на методе имитационного моделирования.
7. Параболизованная система уравнений Навье-Стокса

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Классификация численных моделей газовых разрядов
2. Численная модель расчета направленной спектральной излучательной способности горячих объемов газа, основанная на методе имитационного моделирования

Пример 2.

1. Двухмерная численная модель тлеющего разряда в магнитном поле
2. Модифицированная диффузионно-дрейфовая модель пеннинговского разряда

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**

Дифференцированный зачет принимается в зачетную сессию при проведении устного коллоквиума.

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