

**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>	Физика высоких плотностей энергии
<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 физики высокотемпературных процессов
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.Е. Фортов, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высокотемпературных процессов 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Физика высоких плотностей энергии" предусматривает изучение экстремальных состояний вещества в природе, способов получения экстремальных состояний в различных физических процессах, а также различных подходов для моделирования экстремальных состояний.

Задачи курса:

- изучение классификации экстремальных состояний;
- изучение экстремальных состояний в природе;
- изучение способов получения высоких плотностей энергии;
- получение представлений о практических приложениях экстремальных состояний вещества, в том числе в действующих и перспективных энергоустановках;
- получение представлений о современных возможностях моделирования экстремальных состояний вещества.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- классификацию экстремальных состояний;
- методы получения экстремальных состояний с использованием ударных волн;
- особенности состояний вещества, получаемых с помощью воздействия мощных лазерных импульсов, пучков электронов и ионов и мощного импульса электрического тока;
- параметры современных уникальных отечественных и зарубежных установок для получения экстремальных состояний вещества;
- возможности применения экстремальных состояний в современной энергетике.

Уметь:

- изображать фазовую диаграмму плотность-температура с указанием различных типов экстремальных состояний вещества;
- проводить оценки для получения параметров вещества за фронтом ударных волн;
- проводить анализ состояний вещества, получаемых в различных экспериментах, на фазовой диаграмме.

Владеть:

- навыками анализа ударно-волновых экспериментов;
- представлениями о теоретическом и полуэмпирическом описании неидеальных сред;
- представлениями практическом использовании экстремальных состояний в современных и перспективных энергоустановках;
- представлениями о современных возможностях численного моделирования для изучения экстремальных состояний вещества.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Вывод уравнений газовой динамики
2. Вязкость и теплопроводность
3. Гиперболические системы квазилинейных уравнений
4. Двумерное стационарное течение
5. Детонация в газах
6. Задача о распаде произвольного разрыва
7. Кинетическое уравнение и его связь с гидродинамикой
8. Неустойчивости в течениях газов
9. Плоское изоэнтропическое течение
10. Структура фронта ударной волны
11. Ударные волны и уравнения Гюгонио

## 12. Центрированная волна разрежения

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- изучение экстремальных состояний вещества в природе, способов получения экстремальных состояний в различных физических процессах, а также различных подходов для моделирования экстремальных состояний.

#### Задачи дисциплины

- изучение классификации экстремальных состояний;
- изучение экстремальных состояний в природе;
- изучение способов получения высоких плотностей энергии;
- получение представлений о практических приложениях экстремальных состояний вещества, в том числе в действующих и перспективных энергоустановках;
- получение представлений о современных возможностях моделирования экстремальных состояний вещества.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- классификацию экстремальных состояний;
- методы получения экстремальных состояний с использованием ударных волн;
- особенности состояний вещества, получаемых с помощью воздействия мощных лазерных импульсов, пучков электронов и ионов и мощного импульса электрического тока;
- параметры современных уникальных отечественных и зарубежных установок для получения экстремальных состояний вещества;
- возможности применения экстремальных состояний в современной энергетике.

уметь:

- изображать фазовую диаграмму плотность-температура с указанием различных типов экстремальных состояний вещества;
- проводить оценки для получения параметров вещества за фронтом ударных волн;
- проводить анализ состояний вещества, получаемых в различных экспериментах, на фазовой диаграмме.

владеть:

- навыками анализа ударно-волновых экспериментов;
- представлениями о теоретическом и полуэмпирическом описании неидеальных сред;
- представлениями практическом использовании экстремальных состояний в современных и перспективных энергоустановках;
- представлениями о современных возможностях численного моделирования для изучения экстремальных состояний вещества.

### 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	Вывод уравнений газовой динамики	2			1
2	Вязкость и теплопроводность	2			8
3	Гиперболические системы квазилинейных уравнений	2			4
4	Двумерное стационарное течение	2			2
5	Детонация в газах	4			10
6	Задача о распаде произвольного разрыва	2			8
7	Кинетическое уравнение и его связь с гидродинамикой	2			1
8	Неустойчивости в течениях газов	2			4
9	Плоское изоэнтропическое течение	2			4
10	Структура фронта ударной волны	3			10
11	Ударные волны и уравнения Гюгоньо	3			4
12	Центрированная волна разрежения	4			4
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 8 (Весенний)

##### 1. Вывод уравнений газовой динамики

Общий анализ фазовой диаграммы. Квантовомеханические модели твердого тела. Модели жидкого состояния. Термодинамика плазмы. Фазовые переходы.

##### 2. Вязкость и теплопроводность

Полуэмпирические способы описания термодинамики неидеальных сред. Квазигармоническое приближение. Уравнение состояния Ми-Грюнайзена. Эффекты ангармонизма. Вклад свободных электронов. Плавление. Упрощенные уравнения состояния. Фазовые границы.

##### 3. Гиперболические системы квазилинейных уравнений

Ядерная материя. Понятие о кварках и глюонах. Кварк-глюонная плазма, деконфайнмент кварков. Предполагаемые фазовые переходы в кварк-глюонной плазме, аналогии с электромагнитной плазмой.

##### 4. Двумерное стационарное течение

Первопринципные методы расчета различных свойств экстремальных состояний. Метод Томаса-Ферми, Хартри-Фока-Слэтера, метод функционала плотности, метод квантовой молекулярной динамики, квантовый метод Монте-Карло.

## 5. Детонация в газах

Экстремальные состояния в энергетике. Управляемый термоядерный синтез с инерционным удержанием плазмы. Взрывные МГД-генераторы. Импульсные МГД-генераторы на горении твердых топлив. Мощные источники СВЧ излучения. Имитация ударов молнии. Поиск полезных ископаемых.

## 6. Задача о распаде произвольного разрыва

Сверхвысокие давления. Мощные подземные взрывы. Проблема выбора эталона. Новые методы абсолютных регистраций. Лазерная генерация ударных волн. Пучки релятивистских электронов, тяжелых и легких ионов.

## 7. Кинетическое уравнение и его связь с гидродинамикой

Космические исследования. Строение планет-гигантов. Неидеальная плазма звезд. Противометеоритная защита космических аппаратов и Земли.

## 8. Неустойчивости в течениях газов

Математическое моделирование импульсных процессов. Многомерная газодинамика с учетом уравнения состояния, кинетики, транспортных свойств и физико-химических превращений. Расчет на массивно-параллельных ЭВМ.

## 9. Плоское изоэнтропическое течение

Ударноволновые методы исследования. Метод торможения. Ударные адиабаты веществ-эталонов. Метод отражения. Ударное сжатие пористых образцов. Квазиизэнтропическое ударное сжатие. Измерение термодинамики ударно-сжатого вещества. Температурные регистрации. Изэнтропическое расширение.

## 10. Структура фронта ударной волны

Проблемы безопасности в энергетике. Ядерная энергетика. Водородные и газовые взрывы. Переход горения в детонацию. Взрывная прочность защитных конструкций.

## 11. Ударные волны и уравнения Гюгонио

Статические и динамические методы генерации экстремальных состояний. Сосуды высокого давления. Алмазные наковальни. Электрический взрыв проводников. Адиабатическая труба. Сжатие магнитным полем. Пинчи. Изэнтропическое сжатие. Ударноволновое сжатие.

## 12. Центрированная волна разрежения

Экспериментальные способы генерации ударных волн. Ударные трубы. Плоские метательные системы. Кумулятивные метательные устройства. Сферические и конические системы. Одно- и двухступенчатые легкогазовые пушки. Электрические пушки. Рельсотроны.

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

Необходимое оборудование для лекций: учебная аудитория, компьютеры и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Физматлит. Изд. 3., 656 с., 2008.
2. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Статистическая физика. Часть 1: Учебное пособие для вузов. — М.: Физматлит, 2010. — 616 с.
3. Фортон В. Е. Экстремальные состояния вещества. М. : Физматлит, 304 с., 2009.
4. Бушман А.В., Канель Г.И., Ни А.Л., Фортон В.Е. Теплофизика и динамика интенсивных импульсных воздействий. Черногловка: ОИХФ АН СССР, 1989.

#### Дополнительная литература

1. Физика высоких плотностей энергии /Под ред. П.Кальдиолы, Г.Кнопфеля. М.: Мир, 1974.
2. Высокоскоростные ударные явления /Под ред. Р.Кинслоу. М.: Мир, 1974.

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

1. База данных ударно-волновых экспериментов, <http://www.ihed.ras.ru/rusbank/>

### **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 физики высокотемпературных процессов
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	В.Е. Фортов, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика высоких плотностей энергии» обучающийся должен:

### знать:

классификацию экстремальных состояний;  
методы получения экстремальных состояний с использованием ударных волн;  
особенности состояний вещества, получаемых с помощью воздействия мощных лазерных импульсов, пучков электронов и ионов и мощного импульса электрического тока;  
параметры современных уникальных отечественных и зарубежных установок для получения экстремальных состояний вещества;  
возможности применения экстремальных состояний в современной энергетике.

### уметь:

изображать фазовую диаграмму плотность-температура с указанием различных типов экстремальных состояний вещества;  
проводить оценки для получения параметров вещества за фронтом ударных волн;  
проводить анализ состояний вещества, получаемых в различных экспериментах, на фазовой диаграмме.

### владеть:

навыками анализа ударно-волновых экспериментов;  
представлениями о теоретическом и полуэмпирическом описании неидеальных сред;  
представлениями практическом использовании экстремальных состояний в современных и перспективных энергоустановках;  
представлениями о современных возможностях численного моделирования для изучения экстремальных состояний вещества.

## 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 для подготовки к дифференцированному зачету:

1. Фазовая диаграмма состояний вещества плотность-температура.
2. Параметры, характеризующие экстремальные состояния вещества: параметр неидеальности, параметр вырождения.
3. Неидеальная плазма: основные характеристики и примеры.
4. Квантово-статистические модели вещества.
5. Реальные и гипотетические фазовые переходы при высоких давлениях и температурах.
6. Статические методы генерации высоких давлений: алмазные наковальни и сосуды высокого давления.
7. Методы исследования экстремальных состояний с помощью ударных волн: уравнения Гюгонно, задача о распаде разрыва.



8. Квазиизэнтропическое сжатие, температурные регистрации в ударно-волновых процессах, изэнтропическое расширение.
9. Экспериментальные методы генерации ударных волн: ударная труба, кумулятивные метательные устройства, сферические и конические системы.
10. Способы получения сверхвысоких давлений. Подземные ядерные взрывы, метание фольг с помощью магнитного давления, генерация ударных волн с помощью лазеров.
11. Квазигармоническое приближение, уравнение состояния Ми-Грюнаизена.
12. Вклад электронов в уравнение состояния, электронное давление, электронная теплоемкость.
13. Управляемый термоядерный синтез с инерционным удержанием плазмы.
14. Взрывные и импульсные МГД-генераторы на горении твердых топлив.
15. Строение планет-гигантов. Неидеальная плазма в космосе.
16. Противометеоритная защита космических аппаратов и Земли.
17. Безопасность ядерной энергетики, возможные сценарии развития аварий.
18. Водородные и газовые взрывы на энергоустановках, переход горения в детонацию.
19. Современные возможности численного моделирования процессов в энергоустановках с учетом реальных физических свойств.
20. Первопринципные методы расчета различных свойств вещества в экстремальных состояниях: достижения и проблемы.

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