

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 3

от 30.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**КВАНТОВО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЛОТНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1	2	72	8	24	0	40	0	3
2	3	108	7	23	0	42	0	Э
Итого	5	180	15	47	0	82	0	

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрены широко применяемые в настоящее время квантово-статистические модели высокотемпературной плазмы – модели Томаса-Ферми, Хартри-Фока и Хартри-Фока-Слэтера, обобщенные на произвольные температуры и плотности в приближении среднего атома. Изложение начинается с достаточно простой и в то же время универсальной обобщенной модели Томаса – Ферми для вещества с заданной температурой и плотностью. Затем изучаются методы получения уровней энергии и волновых функций, сечений элементарных процессов в плазме. Получение более совершенных моделей проводится на основе единого вариационного принципа, что позволяет увидеть иерархию моделей и проследить пределы применимости различных приближений.

Решение систем нелинейных уравнений, возникающих при построении моделей самосогласованного поля, требует разработки специальных итерационных методов, в которых широко используются различные физические приближения. Особое внимание уделяется узким местам, требующим больших затрат машинного времени, что позволяет построить эффективные и надежные алгоритмы.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – показать, как на основе модели высокотемпературной плазмы – модели Томаса-Ферми, Хартри-Фока и Хартри-Фока-Слэтера, обобщенные на произвольные температуры и плотности в приближении среднего атома, вычислять спектральные коэффициенты поглощения фотонов, росселандовы пробеги и уравнения состояния. Основная задача курса — обучить студентов применению этих методов для проведения расчетов, описывающих гидродинамические процессы с переносом излучения в высокотемпературной плазме, например, при воздействии мощного лазерного излучения на вещество.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Предлагаемый учебно-методический комплекс предназначен для студентов Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ. Курс односеместровый.

Знания, полученные при изучении курса «Квантово-статистические модели горячей плазмы», требуются для обучения современным методам моделирования неравновесных процессов в плазме, и требуются для успешного усвоения курсов Кинетические модели плазмы, Математические модели современной астрофизики, Общей теории относительности. Предполагается знакомство студентов с курсами статистической физики, квантовой механики, кинетики и гидродинамики.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
<p>планирование и проведение теоретических исследований, разработка новых физических и математических, в том числе компьютерных, моделей изучаемых процессов и явлений, анализ и синтез данных аналитических исследований в предметной области</p>	<p>модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса</p>	<p>ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008, 40.011</p>	<p>3-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств</p>

			самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.
планирование и самостоятельное проведение наблюдений и измерений, планирование, постановка и оптимизация проведения экспериментов в предметной области исследований, выбор эффективных методов обработки данных и их реализация	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса	ПК-2 [1] - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001, 40.008	З-ПК-2[1] - Знать методики оценки и выбора методов исследования.; У-ПК-2[1] - Уметь критически оценивать применяемые методики и методы исследования; В-ПК-2[1] - Владеть навыками оценки методов исследования по выбранным критериям.
Анализ научно-технической информации, постановка научной проблемы, обработка и обобщение полученных результатов.	Научно-техническая информация по тематике исследований, результаты исследований	ПК-2.6 [1] - Способен анализировать научнотехническую информацию, научные проблемы, результаты, перспективы по тематике проводимых исследований и разработок  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-2.6[1] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа научнотехнической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения; У-ПК-2.6[1] - Уметь: проводить поиск, анализ научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и

			<p>разработок; обобщать и критически анализировать полученную информацию; проводить критический анализ своих результатов и результатов других исследователей;</p> <p>В-ПК-2.6[1] - Владеть: навыками поиска и анализа научнотехнической информации, выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок, обобщения и критического анализа информации</p>
конструкторско-технологический			
<p>разработка новых физических и математических методов сертификации и испытаний объектов техники и технологии</p>	<p>объекты техники, технологии и производства</p>	<p>ПК-7 [1] - Способен разрабатывать и адаптировать прикладное программное обеспечение для проведения научных исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001, 40.008</p>	<p>З-ПК-7[1] - Знать основные методики и технологии разработки и адаптации прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований. ;</p> <p>У-ПК-7[1] - Уметь решать типовые задачи профессиональной деятельности с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), разрабатывать, комбинировать и адаптировать существующие ИКТ и прикладное программное</p>

			обеспечение для проведения научных исследований; В-ПК-7[1] - Владеть навыками разработки и адаптации прикладного программного обеспечения для проведения научных исследований.
	проектный		
формирование целей проекта (научной или инновационной программы), решение исследовательской или прикладной задачи в избранной предметной области, формирование критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом социальных и экологических последствий и нравственных аспектов деятельности; составление и разработка научно-технической, проектной, производственной и другой служебной документации по установленной форме	модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса	ПК-11 [1] - Способен разрабатывать методики исследований, планировать экспериментальные и теоретические работы, формулировать план исследований, распределения задач и этапов их решения, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с требованиями работодателя.  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008	З-ПК-11[1] - Знать основные методики, цели и задачи научно-прикладных проектов, разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач. ; У-ПК-11[1] - Уметь формулировать план исследований, распределения задач и этапов их решения, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с требованиями работодателя. ; В-ПК-11[1] - Владеть навыками разработки теоретических моделей решаемых задач.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>1 Семестр</i>							
1	Часть 1	1-8	8/8/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11
2	Часть 2	9-16	0/16/0		25	КИ-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-

							ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 2.6, У- ПК- 2.6, В- ПК- 2.6, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7, 3-ПК- 11, У- ПК- 11, В- ПК- 11
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		8/24/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	3	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 2.6, У- ПК- 2.6, В- ПК- 2.6, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7,

							3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11
	<i>2 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	7/8/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11
2	Часть 2	9-15	0/15/0		25	КИ-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-

							ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 2.6, У- ПК- 2.6, В- ПК- 2.6, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7, 3-ПК- 11, У- ПК- 11, В- ПК- 11
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		7/23/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	Э	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 2.6, У- ПК- 2.6, В- ПК- 2.6, 3-ПК- 7, У- ПК-7, В- ПК-7,

							З-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11
--	--	--	--	--	--	--	---------------------------------

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	8	24	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	8	0
1 - 2	<b>Обобщенная модель Томаса-Ферми для вещества с заданной температурой и плотностью. Основные свойства потенциала Томаса – Ферми.</b> О статистике Ферми -Дирака для системы взаимодействующих частиц. Вывод уравнения Пуассона-Ферми-Дирака для атомного потенциала. Постановка краевой задачи. Потенциал Томаса – Ферми как решение уравнения Пуассона, зависящее только от двух переменных. Основные свойства функций Ферми – Дирака. Модель постоянной плотности свободных электронов при высоких температурах. Модель Томаса – Ферми для температуры равной нулю.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	<b>Методы численного интегрирования уравнения для потенциала Томаса – Ферми. Модель Томаса – Ферми для смеси веществ. Использование модели Томаса-Ферми для описания вещества.</b> Метод <<стрельбы>>. Графики Лэттера. Линеаризация уравнения. Разностная схема. <<Прогонка>> с итерациями. Постановка задачи. Условия термодинамического равновесия.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

	<p>Линеаризация системы уравнений. Итерационная схема и метод прогонки. Обсуждение результатов расчетов. Средняя степень ионизации вещества по модели Томаса – Ферми. О поправках к модели Томаса – Ферми.</p>			
6 - 8	<p><b>Описание состояний электронов в сферической атомной ячейке. Методы вычисления волновых функций электронов.</b> Модель атома со средними числами заполнения. Получение выражения для плотности электронов с помощью квазиклассического приближения для волновых функций. Численные и приближенные методы решения уравнения Шрёдингера. Вариационный метод и метод пробного потенциала. Квазиклассическое приближение.</p>	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Часть 2</b>	0	16	0
9	<p><b>Волновые функции дискретного спектра. Волновые функции непрерывного спектра.</b> Фазовый метод определения собственных значений энергии и волновых функций для уравнений Шрёдингера и Дирака. Водородоподобные и квазиклассические волновые функции. Релятивистские волновые функции.  Использование квазиклассики для нормировки решений уравнения Шрёдингера. Нормировка релятивистских функций непрерывного спектра.</p>	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10 - 12	<p><b>Квантовомеханическое уточнение обобщенной модели Томаса – Ферми. Метод самосогласованного поля Хартри – Фока для вещества с заданной. Модель Хартри – Фока – Слэтера.</b> Самосогласованное поле Хартри для среднего атома. Вычислительный алгоритм. Анализ результатов расчетов для железа. Вариационный принцип, основанный на требовании минимума большого термодинамического потенциала. Уравнения самосогласованного поля в приближении Хартри – Фока. Квазиклассическое приближение для обменного взаимодействия. Уравнения модели Хартри – Фока – Слэтера.</p>	Всего аудиторных часов		
		0	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<p><b>Модифицированная модель Хартри – Фока – Слэтера. Система уравнений Хартри – Фока – Слэтера в</b></p>	Всего аудиторных часов		
		0	4	0

	<b>сферической атомной ячейке.</b> Уравнения модели Хартри – Фока – Слэтера с квазиклассическим приближением для электронов непрерывного спектра . Условие термодинамической согласованности. Периодические граничные условия в приближении усредненных сферических ячеек. Электронная плотность и атомный потенциал в модели Хартри – Фока – Слэтера с учетом зон.	Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>Итерационный метод решения системы уравнений Хартри – Фока – Слэтера. Учет индивидуальных состояний ионов.</b> Основы алгоритма. Расчет зонной структуры спектра электронов. Приближение постоянной плотности для свободных электронов в случае разреженной плазмы. Функционал плотности системы электронов с учетом индивидуальных состояний ионов. Уравнения ионного метода Хартри – Фока – Слэтера в ячеечном и плазменном приближениях. Волновые функции и уровни энергии ионов в плазме.	Всего аудиторных часов		
		0	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<i>2 Семестр</i>	7	23	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	7	8	0
1	<b>Взаимодействие излучения с веществом.</b> Взаимодействие излучения с веществом. Уравнение переноса излучения в веществе. Диффузионное приближение.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Перенос равновесного излучения.</b> Перенос равновесного излучения. Лучистая теплопроводность плазмы. Интеграл Росселанда и коэффициенты непрозрачности. Среднее по Планку. Излучение оптически тонкого слоя.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Квантовомеханические выражения для эффективных сечений поглощения фотонов.</b> Квантовомеханические выражения для эффективных сечений поглощения фотонов. Общие выражения. Поглощение в дискретном и непрерывном спектре.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Сечения поглощения фотонов в непрерывном спектре.</b> Сечения поглощения фотонов в непрерывном спектре. Фотоионизация. Тормозное поглощение. Комптоновское рассеяние.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Особенности поглощения фотонов в спектральных линиях.</b> Особенности поглощения фотонов в спектральных линиях. Положение спектральных линий. Волновые функции атома и сложение моментов. Влияние тонкой структуры спектра.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Форма спектральных линий.</b> Форма спектральных линий. Эффект Доплера. Электронное уширение в ударном приближении. Ионное уширение.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

7	<b>Флуктуации чисел заполнения в плотной высокотемпературной плазме.</b> Флуктуации чисел заполнения в плотной высокотемпературной плазме. Распределение вероятностей возбужденных состояний ионов. Биномиальное распределение.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
8	<b>Статистический метод учета групп линий с помощью эффективного объединенного профиля.</b> Статистический метод учета групп линий с помощью эффективного объединенного профиля. Параметры сдвига и уширения спектральных линий в плазме. Статистическое описание спин-орбитального взаимодействия. Эффективный профиль совокупности линий.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
9-15	<b>Часть 2</b>	0	15	0
9	<b>Коэффициенты поглощения излучения в высокотемпературной плазме.</b> Коэффициенты поглощения излучения в высокотемпературной плазме. Спектральные коэффициенты поглощения. Усредненные характеристики. Зависимость спектральных и усредненных коэффициентов поглощения от номера элемента, температуры и плотности вещества.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
10	<b>О поглощении фотонов в неравновесной плазме.</b> О поглощении фотонов в неравновесной плазме. Основные элементарные процессы в плазме и характерные времена релаксации. Совместное рассмотрение процессов переноса фотонов и поуровневой кинетики электронов.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
11	<b>Радиационные свойства плазмы с неравновесным излучением.</b> Радиационные свойства плазмы с неравновесным излучением. Зависимость характеристик плазмы от поля излучения. Теплопроводность вещества при больших градиентах температуры и плотности.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
12	<b>Уравнение состояния вещества на основе квантово-статистических моделей.</b> Уравнение состояния вещества на основе квантово-статистических моделей. Формулы для давления, внутренней энергии и энтропии электронов по модели Томаса-Ферми. Квантовые, обменные и осцилляционные поправки к модели Томаса-Ферми.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
13	<b>Термодинамические свойства вещества по модели Хартри-Фока-Слэтера.</b> Термодинамические свойства вещества по модели Хартри-Фока-Слэтера. Вклад электронов. Вклад ионов. Обсуждение результатов расчетов.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
14	<b>Модель ионизационного равновесия.</b> Модель ионизационного равновесия. Распределение Гиббса для атомной ячейки. Приближение Саха.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
15	<b>Ионизационное равновесие при малых плотностях.</b> Ионизационное равновесие при малых плотностях. Приближение коронального равновесия. Итерационная	Всего аудиторных часов		
		0	3	0
		Онлайн		

	схема для решения системы уравнений ионизационного равновесия.	0	0	0
--	--	---	---	---

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе используются традиционные и современные образовательные технологии, включая лекции с разбором задач и примеров, компьютерные презентации..

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-11	З-ПК-11	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-11	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-11	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-7	З-ПК-7	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-7	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-7	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-2.6	З-ПК-2.6	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.6	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.6	З, КИ-8, КИ-16	Э, КИ-8, КИ-15

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 538.9 Ф80 Лекции по физике экстремальных состояний вещества : , Москва: Издательский дом МЭИ, 2013

2. 534 З-50 Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений : , Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, Москва: Физматлит, 2008

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 530 К43 Полевые методы теории многих частиц : , Москва: Либроком, 2010

2. 534 З-50 Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений : , Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, Москва: Физматлит, 2008

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Методические рекомендации по освоению теоретического материала.

Для успешного изучения курса необходимо придерживаться определенной методики занятий. Основное условие успеха — систематические занятия.

Для успешного освоения теоретической части курса необходимо регулярно посещать лекции и вести конспект. После каждой лекции следует внимательно разбирать лекционный материал, причём при необходимости следует проделывать некоторые дополнительные выкладки, если такие были оставлены лектором для самостоятельной работы. Перед началом каждой лекции имеет смысл просмотреть конспект, чтобы усвоение нового материала проходило лучше, так как в большинстве случаев изложение опирается на материал, прочитанный на предыдущих занятиях.

Для полного освоения курса недостаточно изучать лишь лекционный материал. В ходе освоения курса следует читать книги, предложенные в списке литературы по курсу. Настоятельно рекомендуется также использовать литературу, обозначенную как «дополнительная», а также самостоятельно или с помощью преподавателя искать и другие источники. При работе с литературой почти бесполезно только читать предложенный материал. Следует проделывать все или хотя бы основные выкладки. Важно осознать, что только самостоятельно проделанные выкладки приводят к пониманию материала. Все, что осталось непонятым, следует спросить у преподавателя на ближайшем занятии. Если даже целый раздел остался неясным, это не показатель ваших способностей; скорее всего вы еще не начали

задавать вопросы себе и другим. А изучить теоретическую физику без вопросов: зачем?, почему?, откуда? — невозможно. То же касается и разбора лекционного материала.

Методические рекомендации для подготовки к семинарским занятиям и решению задач.

Программа курса и семестровый календарный план составлены так, что темы семинарских занятий следуют за темами лекций. И программа курса, и семестровый календарный план доступны каждому студенту на сайте учебного управления университета. Подготовиться к очередному семинарскому занятию - это, прежде всего, проработать лекционный материал, согласно методическим рекомендациям, данным выше. Все невыясненные вопросы теории можно (и нужно) задать преподавателю в начале семинарского занятия. На семинаре, как правило, разбираются вопросы и качественные задачи, дающие возможность более глубоко постичь изучаемый раздел курса. Кроме того, на семинаре учат правильно ставить и решать задачи, анализировать решение задач. По пройденной на семинаре теме даются задачи для самостоятельного (домашнего) решения. Усвоение курса во многом зависит от осмысленного выполнения домашнего задания, вдумчивого решения большого количества задач.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами.

Прежде всего нужно хорошо вникнуть в условие задачи, записать кратко ее условие.

Следует прикинуть, какие основные законы и уравнения и в каких приближениях следует использовать и записать их, после чего попытаться решить.

Задача должна быть сначала решена в максимально общем виде.

Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность.

Если это возможно, исследовать поведение решения в предельных случаях и изобразить характер изучаемой зависимости графически.

Если возможно, при получении того или иного результата, следует указать границы его применимости.

Решение задач принесет наибольшую пользу только в том случае, если вы решаете задачи самостоятельно. Решить задачу без помощи, без подсказки часто бывает нелегко и не всегда удается. Но даже не увенчавшиеся успехом попытки найти решение, если они предпринимались достаточно настойчиво, приносят ощутимую пользу, так как развивают мышление и укрепляют волю. Не следует бояться непривычно длинных математических выкладок, т.к. подобные «длинные» задачи приближены к реальным задачам, с которыми вы можете столкнуться в будущем в научной или другой работе.

Методические рекомендации для подготовки к контрольным и проверочным работам.

Контрольные работы проводятся для проверки качества усвоения материала и выполнения домашних заданий студентами. Они основываются строго на пройденном материале и не выходят за рамки излагаемого курса. Своевременное изучение лекционных материалов и выполнение домашних заданий гарантирует успешное выполнение контрольных и проверочных работ. При подготовке следует руководствоваться общепринятыми установками, т.е. повторить изученный материал, запомнить основные идеи, принципы и результаты курса. Не следует пытаться «вызубрить» материал, достаточно понять и запомнить логику вывода тех или иных результатов и решения задач и осознать их физический и математический смысл. При выполнении контрольной или проверочной работы необходимо записывать все основные шаги при решении задачи, не «перескакивая» к какому-то

промежуточному или окончательному результату без каких-либо на то физических или математических обоснований.

Никаких особых требований к оформлению работ нет. Работа должна быть записана так, чтобы была понятна логика решения задач. Окончательный ответ необходимо выделить каким-либо способом так, чтобы проверяющему было понятно, что это и есть ответ к задаче.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

**Проведение практических занятий и выполнение самостоятельных работ**

Студенты должны, используя прослушанный на лекциях материал, научиться решать задачи по курсу. Следует использовать различные приемы вовлечения студентов в творческий процесс освоения учебного материала: опрос студентов по содержанию прочитанных лекций, вызов студентов к доске для решения текущих задач, самостоятельное решение задачи со сверкой промежуточных и конечного результатов решения, показ преподавателем на доске решения типовых задач, самостоятельные работы.

**Организация контроля**

Контроль знаний осуществляется и путем проведения контрольных или самостоятельных работ с последующей проверкой.

На основании этих результатов выставляется внутрисеместровый зачет/экзамен.

**Проведение зачетов и экзаменов**

Для допуска к аттестации необходимо иметь положительные оценки по каждой теме. Во время аттестации студент получает индивидуальный билет и готовит ответы на вопросы по курсу.

Автор(ы):

Новиков Владимир Григорьевич, д.ф.-м.н.,  
профессор

Рецензент(ы):

С.В. Попруженко