

**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>	Введение в физику плазмы
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Термоядерная энергетика и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и химии плазмы
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии плазмы 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Введение в физику плазмы" предназначен для ознакомления студентов с представлениями о физике плазмы и плазменноподобных сред и о её современных приложениях в науке и технике.

Задачи дисциплины:

- формирование базовых знаний в области физики плазмы, освоение студентами теоретических методов анализа плазменных явлений, проявляющихся как в экспериментальных установках, так и в природе;
- развитие у студентов творческого подхода к выбору методов теоретического анализа различных плазменных явлений;

По результатам освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- Основные понятия, характеризующие состояние плазмы и динамику плазменных явлений: дебаевская длина экранирования, плазменная частота, альфвеновская скорость, диэлектрическая проницаемость плазмы
- Уравнение динамики плазмы в приближении магнитной гидродинамики
- Основные особенности распространения электромагнитных волн в плазме
- Основные особенности поведения плазмы в магнитном поле
- Характер колебаний в плазме и плазменных неустойчивостях
- Основные направления приложения физики плазмы в науке и технике

Уметь:

- Проводить элементарные оценки параметров плазмы методами общей физики
- По результатам оценок проверять применимость идеализированных моделей для описания плазменных явлений
- Записывать уравнения динамики заряженной жидкости в гидродинамическом приближении

Владеть:

- Основными подходами к постановке и решению задач описания динамики плазмы
- Методом линеаризации уравнений динамики сплошной среды
- Методом поиска дисперсионных соотношений для волн в сплошной среде

Основное содержание дисциплины изложено в следующих разделах:

1. Понятие о плазме
2. Понятие о газовом разряде
3. Движение заряженных частиц в магнитном поле
4. Кулоновские столкновения заряженных частиц в плазме
5. Магнитная гидродинамика
6. Плазма в магнитном поле
7. Волны в магнитной гидродинамике
8. Распространение электромагнитных волн в плазме
9. Потенциальные волны в плазме
10. Понятие о плазменных неустойчивостях
11. Опрокидывание нелинейных волн

## 1. Цели и задачи

## Цель дисциплины

- ознакомление студентов с представлениями о физике плазмы и плазменноподобных сред и о её современных приложениях в науке и технике.

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области физики плазмы, освоение студентами теоретических методов анализа плазменных явлений, проявляющихся как в экспериментальных установках, так и в природе;
- развитие у студентов творческого подхода к выбору методов теоретического анализа различных плазменных явлений;

## 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-1.1 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:

- основные понятия, характеризующие состояние плазмы и динамику плазменных явлений: дебаевская длина экранирования, плазменная частота, альфвеновская скорость, диэлектрическая проницаемость плазмы;
- уравнение динамики плазмы в приближении магнитной гидродинамики;
- основные особенности распространения электромагнитных волн в плазме;
- основные особенности поведения плазмы в магнитном поле;
- характер колебаний в плазме и плазменных неустойчивостях;
- основные направления приложения физики плазмы в науке и технике.

уметь:

- проводить элементарные оценки параметров плазмы методами общей физики;
- по результатам оценок проверять применимость идеализированных моделей для описания плазменных явлений
- записывать уравнения динамики заряженной жидкости в гидродинамическом приближении

владеть:

- основными подходами к постановке и решению задач описания динамики плазмы;
- методом линеаризации уравнений динамики сплошной среды;
- методом поиска дисперсионных соотношений для волн в сплошной среде.

## 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

		Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Понятие о плазме	4			1
2	Понятие о газовом разряде	4			1
3	Движение заряженных частиц в магнитном поле	2			1
4	Кулоновские столкновения заряженных частиц в плазме	2			1
5	Магнитная гидродинамика	4			2
6	Плазма в магнитном поле	4			2
7	Волны в магнитной гидродинамике	2			2
8	Распространение электромагнитных волн в плазме	2			2
9	Потенциальные волны в плазме	2			1
10	Понятие о плазменных неустойчивостях	2			1
11	Опрокидывание нелинейных волн	2			1
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

##### Семестр: 5 (Осенний)

##### 1. Понятие о плазме

Классификация плазменноподобных сред. Задача об экранировании заряда, дебаевский радиус. Плазменная частота. Параметр идеальности плазмы.

##### 2. Понятие о газовом разряде

Механизмы зажигания и классификация разрядов. Равновесная и неравновесная плазма. Степень ионизации равновесной плазмы (формула Саха).

##### 3. Движение заряженных частиц в магнитном поле

Движение заряженных частиц в магнитном поле. Электрический дрейф, адиабатический инвариант.

##### 4. Кулоновские столкновения заряженных частиц в плазме

Кулоновские столкновения заряженных частиц в плазме. Проводимость плазмы, закон Ома.

##### 5. Магнитная гидродинамика

Магнитная гидродинамика. Равновесные конфигурации плазмы. Z-пинч и тета-пинч. Вмороженность магнитного поля.

##### 6. Плазма в магнитном поле

Плазма в магнитном поле. Эффект Холла. Влияние магнитного поля на проводимость плазмы. Диффузия плазмы поперек магнитного поля. Диффузия магнитного поля в плазме, скин-эффект. Понятие о МГД-генераторах и плазменных двигателях. Проблема магнитного удержания горячей плазмы.

#### 7. Волны в магнитной гидродинамике

Волны в магнитной гидродинамике: магнитный звук, ионный звук, альфвеновская волна.

#### 8. Распространение электромагнитных волн в плазме

Распространение электромагнитных волн в плазме. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Эффект металлического зеркала и отражение радиоволн от ионосферы. Связь мнимой части диэлектрической проницаемости и затухания.

#### 9. Потенциальные волны в плазме

Потенциальные волны в плазме: лэнгмюровские волны, ионный звук в холодной плазме. Взаимодействие волн с частицами, понятие о затухании Ландау.

#### 10. Понятие о плазменных неустойчивостях

Понятие о плазменных неустойчивостях. Неустойчивость жидкостей разной плотности в поле тяжести (Релея—Тейлора) и желобковая неустойчивость плазменного пинча.

#### 11. Опрокидывание нелинейных волн

Опрокидывание нелинейных волн. Понятие об ударных волнах и солитонах.

### **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. Лекции по физике плазмы/ Д. А. Франк-Каменецкий .— 3-е изд. — Долгопрудный : Интеллект, 2008 .— 280 с.

#### Дополнительная литература

1. Теоретическая физика в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1992, 2001, 2003, 2005 .— 662 с.

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

1. [http://www.maik.ru/contents/plasphys/plasphys\\_1\\_5v31cont.htm](http://www.maik.ru/contents/plasphys/plasphys_1_5v31cont.htm)
2. [http://mipt.ru/study/net\\_libr/](http://mipt.ru/study/net_libr/).

### **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.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Термоядерная энергетика и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и химии плазмы
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук

## 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-1.1 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 «Введение в физику плазмы» обучающийся должен:

### знать:

- основные понятия, характеризующие состояние плазмы и динамику плазменных явлений: дебаевская длина экранирования, плазменная частота, альфвеновская скорость, диэлектрическая проницаемость плазмы;
- уравнение динамики плазмы в приближении магнитной гидродинамики;
- основные особенности распространения электромагнитных волн в плазме;
- основные особенности поведения плазмы в магнитном поле;
- характер колебаний в плазме и плазменных неустойчивостях;
- основные направления приложения физики плазмы в науке и технике.

### уметь:

- проводить элементарные оценки параметров плазмы методами общей физики;
- по результатам оценок проверять применимость идеализированных моделей для описания плазменных явлений
- записывать уравнения динамики заряженной жидкости в гидродинамическом приближении

### владеть:

- основными подходами к постановке и решению задач описания динамики плазмы;
- методом линеаризации уравнений динамики сплошной среды;
- методом поиска дисперсионных соотношений для волн в сплошной среде.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью текущего контроля успеваемости в начале каждого занятия проводится опрос по теме предыдущей лекции.

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

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Термодинамическое равновесие плазмы. Формула Саха.
2. Длина экранирования в равновесной плазме.
3. Электронные плазменные колебания.
4. Движение частиц в постоянных электрическом и магнитном поле.
5. Уравнение магнитной гидродинамики.
6. Диэлектрическая проницаемость плазмы.
7. Диффузия плазмы в магнитном поле.
8. Скин- и пинч-эффект в плазменном столбе.
9. Закон дисперсии плазменных волн в гидродинамическом приближении.



Примеры билетов:

Пример 1.

1. Движение частиц в постоянных электрическом и магнитном поле.
2. Уравнение магнитной гидродинамики.
3. Диэлектрическая проницаемость плазмы.

Пример 2.

1. Длина экранирования в равновесной плазме.
2. Электронные плазменные колебания.
3. Движение частиц в постоянных электрическом и магнитном поле.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Оценка за дифференцированный зачет выставляется по результатам письменной контрольной работы (теста) и устной беседы по вопросам контрольной работы.