

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
природоподобных, плазменных и  
ядерных технологий им. И.В.  
Курчатова**

**Т.Е. Григорьев**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Экспериментальная физика плазмы
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Термоядерные и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и химии плазмы
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Экзамен

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 105 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: С.Л. Недосеев, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии плазмы 30.04.2025

## Аннотация

Курс "Экспериментальная физика плазмы" предусматривает освоение студентами фундаментальных знаний в области экспериментальной физики плазмы, экспериментальных методов исследования плазменных процессов, происходящих в наиболее известных плазменных устройствах, а также в природных условиях.

Задачи курса:

- формирование базовых знаний в области экспериментальной физики плазмы, освоение студентами методов анализа плазменных явлений, проявляющихся как в экспериментальных установках, так и в природе;
- развитие у студентов творческого подхода к выбору методов и экспериментально-технических средств анализа различных плазменных явлений;
- подготовка студентов к работе на реальных экспериментальных установках по управляемому термоядерному синтезу, физике химически активной плазмы, плазменных медицинских аппаратах.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- требования к параметрам горячей плазмы для управляемого термоядерного синтеза (УТС);
- схемы использования термоядерной энергии в энергетическом реакторе;
- современное состояние экспериментальных научно – исследовательских программ по УТС в мире и в России;
- классификация плазменных установок по принципу удержания плазмы;
- системы и установки с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в открытых магнитных ловушках. Современное состояние исследований с открытыми ловушками;
- системы и установки с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в тороидальных магнитных ловушках. Развитие, современное состояние и перспективы экспериментальных физических и инженерных исследований, проектных разработок по токамакам;
- импульсные системы магнитного удержания и нагрева плазмы. Термоядерные и прикладные аспекты Z-пинчей, лайнеров и пучковых систем;
- схемы инерциального термоядерного синтеза. Современное состояние и перспективы лазерного и Z-пинчевого методов инициирования термоядерного микровзрыва;
- схемы плазменных двигателей космических аппаратов, энергетику космического полета. Плазменные методы преобразования ядерной и тепловой энергии в электрическую;
- сопутствующие физико-технические разработки и направления (разделы материаловедения, диагностики излучений, лазерной техники, физики газового разряда, высоковольтной техники, техники сильных магнитных полей).

Уметь:

- быстро осваивать новые экспериментальные методы и теоретические модели в плазменных исследованиях;
- квалифицированно анализировать результаты экспериментальных и теоретических исследований;
- доводить до сведения научной общественности (выступление на семинарах, конференциях, публикации в научных журналах) результаты проведенной научной работы.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Экспериментальная физика плазмы – эффективно развивающееся направление современной экспериментальной и прикладной физики
2. Требования к параметрам горячей плазмы для управляемого термоядерного синтеза (УТС)
3. Схема использования термоядерной энергии в энергетическом реакторе. Сопоставление с ядерным реактором. Энергетика, экология, политика
4. Краткий обзор современного состояния научно – исследовательских программ по УТС в мире и в России
5. Классификация плазменных установок по принципу удержания плазмы
6. Системы с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в открытых магнитных ловушках. Современное состояние исследований с открытыми ловушками

7. Системы с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в тороидальных магнитных ловушках. Развитие, современное состояние и перспективы эксперимент
8. Импульсные системы магнитного удержания и нагрева плазмы. Схема и основные физические принципы сильноточных самосжатых разрядов
9. Инерциальный термоядерный синтез (ИТС). Современное состояние и перспективы лазерного и Z-пинчевого методов инициирования термоядерного микровзрыва
10. Экспериментальная физика плазмы и газового разряда как научный и технический базис развития прикладных и технологических программ
11. Экспериментальная физика плазмы и сопутствующие физико-технические разработки

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

-освоение студентами фундаментальных знаний в области экспериментальной физики плазмы, экспериментальных методов исследования плазменных процессов, происходящих в наиболее известных плазменных устройствах, а также в природных условиях.

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области экспериментальной физики плазмы, освоение студентами методов анализа плазменных явлений, проявляющихся как в экспериментальных установках, так и в природе;
- развитие у студентов творческого подхода к выбору методов и экспериментально-технических средств анализа различных плазменных явлений;
- подготовка студентов к работе на реальных экспериментальных установках по управляемому термоядерному синтезу, физике химически активной плазмы, плазменных медицинских аппаратах.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
	УК-3.4 Способен планировать командную работу, распределять поручения членам команды, организовать обсуждение разных идей и мнений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- требования к параметрам горячей плазмы для управляемого термоядерного синтеза (УТС);
- схемы использования термоядерной энергии в энергетическом реакторе;
- современное состояние экспериментальных научно – исследовательских программ по УТС в мире и в России;
- классификация плазменных установок по принципу удержания плазмы;
- системы и установки с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в открытых магнитных ловушках. Современное состояние исследований с открытыми ловушками;
- системы и установки с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в тороидальных магнитных ловушках. Развитие, современное состояние и перспективы экспериментальных физических и инженерных исследований, проектных разработок по токамакам;
- импульсные системы магнитного удержания и нагрева плазмы. Термоядерные и прикладные аспекты Z-пинчей, лайнеров и пучковых систем;
- схемы инерциального термоядерного синтеза. Современное состояние и перспективы лазерного и Z-пинчевого методов инициирования термоядерного микровзрыва;
- схемы плазменных двигателей космических аппаратов, энергетику космического полета. Плазменные методы преобразования ядерной и тепловой энергии в электрическую;
- сопутствующие физико-технические разработки и направления (разделы материаловедения, диагностики излучений, лазерной техники, физики газового разряда, высоковольтной техники, техники сильных магнитных полей).

уметь:

- быстро осваивать новые экспериментальные методы и теоретические модели в плазменных исследованиях;
- квалифицированно анализировать результаты экспериментальных и теоретических исследований;
- доводить до сведения научной общественности (выступление на семинарах, конференциях, публикации в научных журналах) результаты проведённой научной работы.

владеть:

- навыками освоения большого объёма информации;
- навыками работы в коллективе лаборатории и самостоятельной работы;
- умением искать теоретические объяснения экспериментальным результатам и экспериментальные подтверждения теоретическим моделям.

### 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	Экспериментальная физика плазмы – эффективно развивающееся направление современной экспериментальной и прикладной физики	5			12
2	Требования к параметрам горячей плазмы для управляемого термоядерного синтеза (УТС)	5			12
3	Схема использования термоядерной энергии в энергетическом реакторе. Сопоставление с ядерным реактором. Энергетика, экология, политика	6			12
4	Научно–исследовательские программы по УТС в мире и в России.	2			12
5	Классификация плазменных установок по принципу удержания плазмы	6			13
6	Системы с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в открытых магнитных ловушках. Современное состояние исследований с открытыми ловушками	6			14
7	Системы с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в тороидальных магнитных ловушках. Развитие, современное состояние и перспективы эксперимент	6			5
8	Импульсные системы магнитного удержания и нагрева плазмы. Схема и основные физические принципы сильноточных самосжатых разрядов	4			5
9	Инерциальный термоядерный синтез (ИТС). Современное состояние и перспективы лазерного и Z-пинчeveго методов инициирования термоядерного микровзрыва	6			10
10	Экспериментальная физика плазмы и газового разряда как научный и технический базис развития прикладных и технологических программ	6			6
11	Экспериментальная физика плазмы и сопутствующие физико-технические разработки	8			4
Итого часов		60			105
Подготовка к экзамену		60 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

1. Экспериментальная физика плазмы – эффективно развивающееся направление современной экспериментальной и прикладной физики

Экспериментальная физика плазмы – эффективно развивающееся направление современной экспериментальной и прикладной физики. Универсальность и многоаспектность плазменного эксперимента. Управляемый термоядерный синтез как одна из целей экспериментальной физики плазмы. Экспериментальная физика плазмы и плазменные технологии.

## 2. Требования к параметрам горячей плазмы для управляемого термоядерного синтеза (УТС)

Требования к параметрам плазмы для УТС (температура, плотность, критерий Лоусона, роль примесей, магнитное и инерциальное удержание плазмы).

## 3. Схема использования термоядерной энергии в энергетическом реакторе. Сопоставление с ядерным реактором. Энергетика, экология, политика

Схема использования термоядерной энергии в энергетическом реакторе. Сопоставление с ядерным реактором (энергетика, безопасность, экологические особенности, гибридные реакторы). Сопоставление с ядерным и термоядерным взрывом.

## 4. Научно–исследовательские программы по УТС в мире и в России.

Краткий обзор современного состояния научно – исследовательских программ по УТС в мире и в России.

## 5. Классификация плазменных установок по принципу удержания плазмы

Классификация плазменных установок по принципу удержания плазмы. Основные элементы и системы плазменной установки (ловушка, системы создания и нагрева плазмы, вакуумная система и реакторная камера, системы энерго- и ресурсоснабжения, автоматика, диагностические системы, средства обеспечения безопасности).

## 6. Системы с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в открытых магнитных ловушках. Современное состояние исследований с открытыми ловушками

Открытые магнитные ловушки. Адиабатический инвариант и удержание плазмы в пробочной геометрии. Кулоновские столкновения, конус ухода, длительность удержания плазмы. Термоядерные возможности пробкотрона. Устойчивость плазмы в пробкотроне. Методы нагрева и накопления заряженных частиц в пробкотроне (инжекция и захват ионов и нейтралов, адиабатическое сжатие, ВЧ- и СВЧ– нагрев, токовый нагрев) Многообразие вариантов открытых магнитных ловушек (палки Иоффе, антипробкотроны, бейсбол, uap-uip, амбиполярные и гофрированные ловушки, ГДЛ). Современное состояние исследований с открытыми ловушками. Тороидальные магнитные ловушки. Тороидальный дрейф как следствие искривления магнитных силовых линий. Подавление тороидального дрейфа посредством вращательного преобразования. Стелларатор и токамак.

Конфигурация магнитных полей в токамаке, их роль в удержании плазмы. Устройство токамака, многообразие конкретных экспериментальных решений.

Критерий устойчивости Шафранова и связь параметров токамака с ним. Энергетическое время жизни плазмы в токамаке. Классическая, бомовская и неоклассическая диффузии плазмы в токамаке.

## Семестр: 2 (Весенний)

## 7. Системы с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в тороидальных магнитных ловушках. Развитие, современное состояние и перспективы эксперимент

Критерий устойчивости Шафранова и связь параметров токамака с ним. Джоулев и дополнительные методы нагрева плазмы в токамаке. Примеси, роль первой стенки, диверторы. L- и H – режимы удержания. Неустойчивости срыва, новые тенденции и подходы. Энергетическое время жизни плазмы в токамаке. Классическая, бомовская и неоклассическая диффузии плазмы в токамаке.

8. Импульсные системы магнитного удержания и нагрева плазмы. Схема и основные физические принципы сильноточных самосжатых разрядов

Схема и основные физические принципы сильноточных самосжатых разрядов. Z- и  $\Theta$ - пинч, сжатие лайнера. Электрофизическая схема эксперимента с Z-пинчем. Временные зависимости основных параметров пинча. Равновесие и неустойчивость пинча. Развитие идеологии пинчей (перетяжки, стабилизация магнитным полем, плазменный фокус, турбулентный нагрев).

9. Инерциальный термоядерный синтез (ИТС). Современное состояние и перспективы лазерного и Z-пинчевого методов инициирования термоядерного микровзрыва

Инерциальное удержание плазмы. Имплозия мишени – необходимое условие инициирования термоядерного микровзрыва. Метод непосредственного облучения мишени, метод хольраума.

10. Экспериментальная физика плазмы и газового разряда как научный и технический базис развития прикладных и технологических программ

Плазменные двигатели космических аппаратов. Энергетика космического полета. Схемы плазменных двигателей. Удельный импульс, тяга плазменного двигателя. Плазменные методы преобразования ядерной и тепловой энергии в электрическую.

11. Экспериментальная физика плазмы и сопутствующие физико- технические разработки

Экспериментальная физика плазмы и сопутствующие физико-технические разработки (материаловедение, диагностика излучений, наносекундный диапазон измерений, лазерная техника, физика газового разряда, высоковольтная техника, сильные магнитные поля).

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

учебная аудитория. персональные компьютеры с доступом к сети Интернет.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

Фонд литературы кафедры

1. В. А. Глухих, В. А. Беляков, А. Б. Минеев «Физико-технические основы управляемого термоядерного синтеза: учеб. пособие. - СПб., Изд-во политехн. университета, 2006. - 348 с.
2. А. И. Морозов. Введение в плазмодинамику. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 576 с.
3. Ядерный синтез с инерционным удержанием. Современное состояние и перспективы для энергетики /под ред. Б. Ю. Шаркова. - Москва.: Физматгиз, 2005

### Дополнительная литература

1. Смирнов Б. М. Физика слабо-ионизированного газа. - М.: Наука, 1985
2. Кролл Н, Трайвелпис А. Основы физики плазмы. - М.: Мир, 1975

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

1. Сайт ИТЭР <http://www.iter.org/index.htm>
2. Сайты НЛ «Сандия», США. <http://zpinch.sandia.gov/>

## **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>	Термоядерные и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и химии плазмы
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Экзамен	
2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	С.Л. Недосеев, д-р физ.-мат. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.1 Организует и координирует работу участников проекта, способствует конструктивному преодолению возникающих разногласий и конфликтов
	УК-3.2 Учитывает в своей социальной и профессиональной деятельности интересы, особенности поведения и мнения (включая критические) людей, с которыми работает/взаимодействует, в том числе посредством корректировки своих действий
	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
	УК-3.4 Способен планировать командную работу, распределять поручения членам команды, организовать обсуждение разных идей и мнений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Экспериментальная физика плазмы» обучающийся должен:

**знать:**

- требования к параметрам горячей плазмы для управляемого термоядерного синтеза (УТС);
- схемы использования термоядерной энергии в энергетическом реакторе;
- современное состояние экспериментальных научно – исследовательских программ по УТС в мире и в России;
- классификация плазменных установок по принципу удержания плазмы;
- системы и установки с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в открытых магнитных ловушках. Современное состояние исследований с открытыми ловушками;
- системы и установки с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы в тороидальных магнитных ловушках. Развитие, современное состояние и перспективы экспериментальных физических и инженерных исследований, проектных разработок по токамакам;
- импульсные системы магнитного удержания и нагрева плазмы. Термоядерные и прикладные аспекты Z-пинчей, лайнеров и пучковых систем;
- схемы инерциального термоядерного синтеза. Современное состояние и перспективы лазерного и Z-пинчевого методов инициирования термоядерного микровзрыва;
- схемы плазменных двигателей космических аппаратов, энергетику космического полета. Плазменные методы преобразования ядерной и тепловой энергии в электрическую;
- сопутствующие физико-технические разработки и направления (разделы материаловедения, диагностики излучений, лазерной техники, физики газового разряда, высоковольтной техники, техники сильных магнитных полей).

#### **уметь:**

- быстро осваивать новые экспериментальные методы и теоретические модели в плазменных исследованиях;
- квалифицированно анализировать результаты экспериментальных и теоретических исследований;
- доводить до сведения научной общественности (выступление на семинарах, конференциях, публикации в научных журналах) результаты проведённой научной работы.

#### **владеть:**

- навыками освоения большого объёма информации;
- навыками работы в коллективе лаборатории и самостоятельной работы;
- умением искать теоретические объяснения экспериментальным результатам и экспериментальные подтверждения теоретическим моделям.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Вопросы к экзамену в 9 семестре:

1. Требования к параметрам плазмы для УТС (температура, плотность, критерий Лоусона, роль примесей, магнитное и инерциальное удержание плазмы).
2. Схема использования термоядерной энергии в энергетическом реакторе. Сопоставление с ядерным реактором (энергетика, безопасность, экологические особенности, гибридные реакторы).
3. Основные элементы и системы плазменной установки (ловушка, системы создания и нагрева плазмы, вакуумная система и реакторная камера, системы энерго- и ресурсоснабжения, автоматика, диагностические системы, средства обеспечения безопасности).
4. Системы с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы.
5. Открытые магнитные ловушки.
6. Адиабатический инвариант и удержание плазмы в пробочной геометрии. Кулоновские столкновения, конус ухода, длительность удержания плазмы.
7. Термоядерные возможности пробкотрона. Устойчивость плазмы в пробкотроне.
8. Методы нагрева и накопления заряженных частиц в пробкотроне (инжекция и захват ионов и нейтронов, адиабатическое сжатие, ВЧ- и СВЧ- нагрев, токовый нагрев).

9. Многообразие вариантов открытых магнитных ловушек (палки Иоффе, антипробкотроны, бейсбол, уап-уип, амбиполярные и гофрированные ловушки, ГДЛ). Современное состояние исследований с открытыми ловушками.

Вопросы к экзамену в 10 семестре:

1. Тороидальные магнитные ловушки. Тороидальный дрейф как следствие искривления магнитных силовых линий. Подавление тороидального дрейфа посредством вращательного преобразования. Стелларатор и токамак
2. Конфигурация магнитных полей в токамаке, их роль в удержании плазмы.
3. Критерий устойчивости Шафранова и связь параметров токамака с ним. Энергетическое время жизни плазмы в токамаке. Классическая, боровская и неоклассическая диффузии плазмы в токамаке.
4. Джоулев и дополнительные методы нагрева плазмы в токамаке.
5. Схема и основные физические принципы сильноточных самосжатых разрядов. Z- и  $\Theta$ - пинч, сжатие лайнера. Электрофизическая схема эксперимента с Z-пинчем.
6. Генерация импульсов сверхвысоких электрических мощностей Релятивистские электронные пучки, пучки легких ионов. Быстрые излучающие Z-пинчи сверхтераваттной мощности – основное направление развития современных исследований по Z-пинчам. Термоядерные и прикладные аспекты Z-пинчей, лайнеров и пучковых систем.
7. Инерциальное удержание плазмы. Импульсия мишени – необходимое условие инициирования термоядерного микровзрыва. Метод непосредственного облучения мишени, метод хольраума.
8. Сопоставление лазерного и Z-пинчевого методов для получения плазмы с высоким энергосодержанием и генерации термоядерного микровзрыва.
9. Плазменные двигатели космических аппаратов. Энергетика космического полета. Схемы плазменных двигателей. Удельный импульс, тяга плазменного двигателя. Плазменные методы преобразования ядерной и тепловой энергии в электрическую.
10. Дуговой разряд и плазменные высокоинтенсивные технологии обработки материалов. Дуговые плазмотроны, плазменная резка, сварка, наплавка.
11. ВЧ- и СВЧ-разряды для генерации неравновесной, химически активной плазмы низкого и высокого давлений. Плазмохимические реакторы.
12. Плазменная обработка поверхностей с применением газовых разрядов. Плазменное напыление, плазменное травление, получение нанопорошков.
13. Импульсные разряды высокой мощности для технологических, геологических, диагностических целей.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Основные элементы и системы плазменной установки (ловушка, системы создания и нагрева плазмы, вакуумная система и реакторная камера, системы энерго- и ресурсоснабжения, автоматика, диагностические системы, средства обеспечения безопасности).
2. Открытые магнитные ловушки.

Пример 2.

1. Тороидальные магнитные ловушки. Тороидальный дрейф как следствие искривления магнитных силовых линий. Подавление тороидального дрейфа посредством вращательного преобразования. Стелларатор и токамак
2. ВЧ- и СВЧ-разряды для генерации неравновесной, химически активной плазмы низкого и высокого давлений. Плазмохимические реакторы.

Критерии оценивания

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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