

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
(Минобрнауки России)**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
(ОИВТ РАН)

Принято на Ученом совете
ОИВТ РАН

Протокол № 3 от
15.11.2018

«Утверждаю»

Директор ОИВТ РАН



_____ академик Петров О.Ф.

«15» ноября 2018 год

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Электрофизика, электрофизические установки»

направление подготовки: **«Физика и астрономия» код 03.06.01**

(направленность – Электрофизика, электрофизические установки)

Квалификация

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Москва
2018

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является исследование закономерностей взаимодействия физических тел, веществ, макро- и микрочастиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме. Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью электрофизических явлений и необходимостью создания различного рода электрофизических устройств и приборов.

Задачами данного курса являются:

- освоение фундаментальных закономерностей распространения электромагнитного излучения в веществе с целью совершенствования и создания новых методов и принципов использования электрофизических явлений в устройствах для реализации электронно- и ионнолучевых, плазменных, лазерных, и СВЧ-технологий.

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Электрофизика, электрофизические установки» относится к вариативной части цикла Б.1.В.ОД.2 кода УЦ ООП и принадлежит к типу «б» по характеру освоения, т.е. должна быть освоена аспирантом обязательно, но не обязательно в период обучения, отмеченный в базовом учебном плане. Итоговая форма контроля – зачет.

В курсе используются представления смежных областей физики: квантовой механики, квантовой, электроники, электродинамики.

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. ГОД И СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ (если есть)

Второй год, третий семестр обучения.

4. ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.

Вариативная часть, в т.ч.:	<u>4</u> зач. ед.
Контактная работа аспиранта с преподавателем, всего, в т.ч.:	<u>72</u> часов
лекции	<u>28</u> часов
практические занятия	<u>44</u> часов
лабораторные работы	<u>нет</u> часов
индивидуальные занятия с преподавателем	<u>нет</u> часов
Самостоятельные занятия	<u>72</u> часов
ВСЕГО	4 зач. ед., 144 часов

6. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Электрофизика, электрофизические установки» направлено на формирование следующих универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций аспиранта:

а) универсальные (УК):

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

б) общепрофессиональные (ОПК):

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

в) профессиональные (ПК):

- способность к исследованию механизмов взаимодействия физических тел, веществ, макро- и микрочастиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме, а также способность к совершенствованию существующих и поиску новых методов и принципов использования электрофизических явлений в технических приложениях (ПК-1).

7. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины «Физическая газодинамика нестационарных воздействий» обучающийся должен:

1. Знать:

- методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач электрофизики, электрофизических установок.

2. Уметь:

- критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития электрофизики, электрофизических установок.

3. Владеть:

- технологией проектирования образовательного процесса на уровне высшего образования.

8. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1	3 (УК-1) -1 Знать методы критического анализа и оценки современных достижений в области электрофизики, методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных

	областях. У (УК-1)-1 Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов. В (УК-1) 1 Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
ПК-2	З (ПК-1)- 1 Знать современные подходы и методы создания физических моделей процессов в области электрофизики. У (ПК-1)- 1 Уметь исследовать физические модели процессов в области электрофизики. В (ПК-1)-1 Владеть подходами и методами исследования в области электрофизики и электрофизических установок.

9 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам:

№ темы и название	Количество часов
1. Основные понятия электростатики и электродинамики	8
2. Линейные и нелинейные электрические цепи	16
3. Общие сведения о строении вещества в контексте электрофизики	18
4. Явления в сильных электромагнитных полях: поведение вещества и способы накопления энергии	44
5. Сильноточные пучки заряженных частиц	24
6. Электрофизические устройства для и реализации электронно- и ионнолучевых, плазменных, лазерных, и СВЧ-технологий	18
7. Компьютерные и математические методы для моделирования и решения задач в области электродинамики.	16
ВСЕГО (часов)	144

Лабораторные занятия: нет

Практические занятия (семинары)

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Численные методы решения краевых задач электродинамики.	4
2	Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах.	4
3	Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме.	4
4	Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме	4
5	Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях.	4
6	Оптимизация по напряжению и мощности накопителей энергии на	4

	линиях коаксиального типа с распределенными параметрами.	
7	Технологические устройства на основе совместного применения мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей.	6
8	Метод конечных разностей. Быстрое преобразование Фурье, методы прогонки и циклической редукции. Метод конечных элементов. Вариационно-разностные методы.	8
9	Сравнительный анализ существующих пакетов программ для расчета электродинамических явлений.	6
ВСЕГО (часов)		44 часа

Самостоятельная работа:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия.	28 часа
2	- решение задач по заданию преподавателя – решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	36 часов
3	- подготовка к зачету	8 часов
ВСЕГО (часов)		72 часов

Содержание дисциплины

№ п/п	Название модулей	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (зачетные единицы/часы)	Самостоятельная работа (зачетные единицы/часы)
1	Основные понятия электростатики и электродинамики	Основы электродинамики	Электростатика. Диэлектрики. Магнитостатика. Магнитное поле в веществе. Электромагнитное поле в неподвижной среде. Квазистационарное	4	4

			электромагнитное поле. Распространение электромагнитного поля в волноводах. Полые резонаторы. Излучение заряженных частиц. Численные методы решения краевых задач электродинамики.		
2	Линейные и нелинейные электрические цепи	Основы теории электрических цепей	Линейные цепи. Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Цепи с распределенными параметрами. Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме. Синтез линейных электрических цепей. Элементы синтеза четырехполюсника. Нелинейные цепи. Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме.	8	8
3	Общие сведения о строении вещества в контексте электрофизики	Строение вещества	Газы. Основы кинетической теории газов. Уравнение состояния идеального газа. Эффективное сечение и средняя длина свободного пробега. Процессы переноса. Плазма. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Испускание и поглощение фотонов. Диффузия и дрейф частиц. Жидкости. Силы взаимодействия молекул. Явление переноса в жидкостях. Твердые тела. Кристаллическая решетка. Силы связи в решетке. Электронный газ, модель потенциальной ямы Шоттки. Зонная модель. Явление сверхпроводимости.	10	8
4	Явления в сильных электромагнитных полях: поведение вещества и способы	Вещество в сильных электромагнитных полях	Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Газовый разряд. Прохождение тока через жидкость. Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Криопроводимость.	12	10

	накопления энергии		Сверхпроводимость. Эффект Холла. Термоэлектричество. Электрический взрыв проводников. Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях.		
		Накопление и коммутация энергии больших мощностей	Пространственно-временная концентрация энергии. Физические ограничения на плотность энергии в накопителях. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Емкостные накопители энергии. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на основе конденсаторов (вакуумные, газовые, жидкостные разрядники, разрядные колонны). Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии. Оптимизация по напряжению и мощности накопителей энергии на линиях коаксиального типа с распределенными параметрами.	10	12
5	Сильноточные пучки заряженных частиц	Физика сильноточных пучков заряженных частиц	Сильноточные пучки в вакууме. Предельный ток, ограниченный пространственным зарядом. Предельный ток Альфвена. Формирование виртуального катода. Сильноточные пучки в плазме и газе. Электромагнитные поля, возбуждаемые пучком при инжекции. Генерация сильноточных электронных и ионных пучков. Взрывная эмиссия в сильноточном диоде. Плоский диод в режиме Богуславского-Ленгмюра. Волны и неустойчивости в сильноточных пучках заряженных частиц. Волны в	12	12

			холодной стационарной плазме. Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространственного заряда.		
6	Электрофизические устройства для и реализации электронно-ионнолучевых, плазменных, лазерных, и СВЧ-технологий	Физика и техника устройств на основе низкотемпературной плазмы	Тлеющий, коронный, искровой разряды. Дуговой разряд. Высокочастотные разряды различных типов. Плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе электрических дугowych разрядов. Плазменные генераторы, использующие высокочастотные разряды разных типов. Емкостной, индуктивный, факельный, СВЧ разряды. Самостоятельные и несамостоятельные разряды в газе. Технологические устройства на основе совместного применения мощных электрических дугowych разрядов и электромагнитных полей. Физика приэлектродных процессов в сильноточных дугowych разрядах.	8	10
7	Компьютерные и математические методы для моделирования и решения задач в области электродинамики.	Компьютерные технологии	Компьютер как инструмент научной работы. Математическое моделирование с применением компьютерных технологий. Численные методы решения задач электродинамики. Метод конечных разностей. Быстрое преобразование Фурье, методы прогонки и циклической редукции. Метод конечных элементов. Вариационно-разностные методы. Функции Грина. Метод интегральных уравнений. Сравнительный анализ существующих пакетов программ для расчета электродинамических явлений.	8	8
ВСЕГО (часов)				72	72

10. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ

ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

10.1 Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина (модуль), и их «карты»

Вид дисциплины		Компетенции Наименование дисциплины	Универсальные компетенции					Обще-профессиональные компетенции		Профессиональные компетенции		
			УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	УК-5	ОПК-1	ОПК-2	ПК-1	ПК-2	ПК-3
Вариативная часть	Дисциплины по выбору	Электрофизика, электрофизические установки	+							+		

Критерии оценивания компетенций приведены ниже.

Карты профессиональных компетенций

КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ

КОМПЕТЕНЦИЯ: ПК-1 (01.04.13) Способность к исследованию механизмов взаимодействия физических тел, веществ, макро- и микрочастиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме, а также способность к совершенствованию существующих и поиску новых методов и принципов использования электрофизических явлений в технических приложениях.

(шифр и название)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры по направлению подготовки «Физика и астрономия» осваивается в течение всего периода обучения в рамках дисциплин (модулей) вариативной части и педагогической практики независимо от формирования других компетенций, и обеспечивает реализацию обобщенной трудовой функции «Проводить научные исследования и реализовывать проекты»

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры должен:

ЗНАТЬ: физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, основные тенденции развития в электрофизике, электрофизических установках,

УМЕТЬ: осуществлять отбор материала, характеризующего достижения в электрофизике, электрофизических установках, с учетом конкретной научной или технической задачи,

ВЛАДЕТЬ: навыками работы в научном коллективе; приемами целеполагания, планирования, реализации необходимых видов деятельности, оценки и самооценки результатов деятельности по решению научных задач электрофизики, электрофизических установок.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК-1) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач электрофизики, электрофизических установок.	Не имеет базовых знаний о методиках анализа современных физико-технических проблем электрофизики, электрофизических установок, способах и методах решения экспериментальных и теоретических задач	Допускает существенные ошибки при раскрытии содержания методик анализа современных физико-технических проблем электрофизики, электрофизических установок, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач.	Демонстрирует частичные знания содержания методик анализа современных физико-технических проблем электрофизики, электрофизических установок, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач, указывает способы реализации, но не может обосновать возможность их использования в конкретных ситуациях.	Демонстрирует знания сущности методик анализа современных физико-технических проблем электрофизики, электрофизических установок, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач, отдельных особенностей методик и способов их реализации, но не выделяет критерии выбора конкретных методов и способов при решении научных задач.	Раскрывает полное содержание методик анализа современных физико-технических проблем электрофизики, электрофизических установок, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач, всех их особенностей, аргументированно обосновывает критерии выбора методик анализа современных физико-технических проблем электрофизики, электрофизических установок, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач при решении профессиональных задач.

УМЕТЬ: критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития электрофизики, электрофизических установок	Не умеет и не готов критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности.	Имея базовые представления о современных физико-технических проблемах электрофизики, электрофизических установок, и способах их решения, не способен определить границы их применимости в конкретных ситуациях.	При анализе конкретной научной задачи не учитывает тенденции развития электрофизики, электрофизических установок	Умеет критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, но не полностью учитывает тенденции развития области электрофизики, электрофизических установок	Готов и умеет критически анализировать проблемы механики жидкости, газа и плазмы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития области электрофизики, электрофизических установок
ВЛАДЕТЬ: технологией проектирования образовательного процесса на уровне высшего образования	Не владеет приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению задач электрофизики, электрофизических установок.	Владеет отдельными приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению стандартных научных задач электрофизики, электрофизических установок, допуская ошибки при выборе приемов и технологий	Владеет отдельными приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению стандартных задач электрофизики, электрофизических установок, давая не полностью аргументированное обоснование	Владеет приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению стандартных профессиональных задач электрофизики, электрофизических установок, полностью аргументируя предлагаемые варианты решения.	Демонстрирует владение системой приемов и технологий целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению нестандартных профессиональных задач электрофизики, электрофизических установок, полностью аргументируя выбор предлагаемого варианта решения.

		и их реализации.	предлагаемого варианта решения.		
--	--	------------------	---------------------------------	--	--

Примечания:

* В качестве планируемых результатов обучения для формирования компетенции могут быть выделены не все предложенные категории («владеть (навыком, методом, способом, технологией пр.), «уметь» и «знать»)), а только их часть, при этом под указанными категориями понимается:

«знать» – воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты.

«уметь» – решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения;

«иметь навык» – многократно применять «умение», довести «умение» до автоматизма

«владеть» – решать усложненные задачи на основе приобретенных знаний, умений и навыков, с их применением в нетипичных ситуациях, формируется в процессе получения опыта деятельности.

10.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.

Контрольные темы для проведения текущего контроля: 1. Основы электродинамики	1. Электростатика. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Проводники в электрическом поле. Работа электрических сил, потенциал электрического поля. Уравнение Пуассона и Лапласа. Потенциал объемных и поверхностных зарядов. Двойной электрический слой. 2. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия электрического поля. Пондеромоторные силы. 3. Методы решения задач электростатики. 4. Поляризация диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Уравнения электрического поля в произвольной среде. Пондеромоторные силы в диэлектриках. Энергия электрического поля в диэлектриках. Тензор натяжений электрического поля. 5. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики. 6. Магнитостатика. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца. Векторный потенциал магнитного поля. Уравнения магнитного поля. Потенциальные и соленоидальные магнитные поля. Граничные условия в магнитном поле токов. Пондеромоторные силы в магнитном поле. Взаимная индукция и самоиндукция линейных проводников. 7. Магнитное поле в веществе. Намагниченность магнитов. Уравнения макроскопического магнитного поля в магнетиках. Механизм намагничивания магнетиков. Теорема Лармора. Диамагнетизм. Парамагнетизм. 8. Ферромагнетизм. Доменная структура. Модель Стонера–Вольфарта. 9. Квазистационарное электромагнитное поле. Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Скин-эффект. 10. Электромагнитное поле в неподвижной среде. Электромагнитные волны. Уравнение Максвелла. Теорема Пойнтинга. Уравнение для потенциалов электромагнитного поля. 11. Решение волнового уравнения. Электромагнитные волны. Запаздывающие и опережающие потенциалы. Скорость распространения электромагнитных возмущений. 12. Отражение и преломление электромагнитной волны. Формулы Френеля. Методы расчета коэффициента отражения. 13. Распространение электромагнитного поля в волноводах. Критическая длина волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия. 14. Электромагнитные колебания в полых резонаторах. 15. Излучение заряженных частиц. Условия излучения в неограниченном пространстве. Поле излучения системы зарядов. Волновая зона. Дипольное излучение осциллятора. 16. Излучение релятивистской частицы. Магнитотормозное излучение. Переходное излучение. Черенковское излучение электромагнитных волн в среде. Спонтанное и индуцированное излучение. Вынужденное комбинационное рассеяние. 17. Численные методы решения краевых задач электродинамики. Метод конечных разностей. Быстрое преобразование Фурье, методы прогонки и циклической редукции. Метод конечных элементов. Вариационно-разностные методы. 18. Функции Грина. Метод интегральных уравнений.
2. Основы теории	1. Линейные цепи. Методы расчета линейных электрических

электрических цепей	цепей в стационарном режиме. Уравнения Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд. Метод контурных токов. Метод узловых напряжений. Метод эквивалентного генератора. 2. Цепи с зависимыми источниками. Цепи с взаимными индуктивностями. 3. Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Классический метод. Операторный метод (преобразование Лапласа). Метод переменных состояний. 4. Преобразование Фурье. Интеграл Дюамеля. Цепные схемы, передаточные функции. Обратная связь, электрические фильтры. 5. Цепи с распределенными параметрами. Длинные линии. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме. 6. Падающие и отраженные волны. Распределение токов и напряжений в линии. Входное сопротивление линии. 7. Согласование длинных линий. 8. Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме. 9. Синтез пассивных линейных двухполюсников. Свойства входных функций пассивных двухполюсников. Положительные вещественные функции. Критерии физической реализуемости. Алгоритм Кауэра. Алгоритм Фостера. 10. Синтез четырехполюсников по трем заданным Z- или Y-параметрам, по передаточной функции в виде G-образного звена из rC или rL-элементов. 11. Синтез неуравновешенных четырехполюсников в виде каскадного соединения. 12. Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока. Метод условной линеаризации. Графические методы – лестничная структура, схемы с двумя узлами. Метод кусочно-линейной аппроксимации. 13. Трансформатор с ферромагнитным сердечником. Цепи с ферромагнетиками. Феррорезонанс. 14. Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме. Метод интегрируемой аппроксимации. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Метод медленно меняющихся амплитуд. Метод малого параметра. Метод интегральных уравнений. 15. Вариационные методы расчета. 16. Цепи с инерционными элементами, параметрические цепи.
3. Строение вещества	1. Основы кинетической теории газов. Давление газа, уравнение состояния идеального газа. 2. Распространение звуковых волн в идеальном газе. Ударные волны в идеальном газе. 3. Эффективное сечение и средняя длина свободного пробега. Процессы переноса. 4. Плазма. Основные понятия. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. 5. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Термическая ионизация, уравнение Саха. Дебаевский радиус. 6. Плазменная частота. Испускание и поглощение фотонов. 7. Диффузия и дрейф частиц. Амбиполярная диффузия. Соотношение между подвижностью и коэффициентами

	диффузии. 8. Проводимость низкотемпературной плазмы. Проводимость полностью ионизированного газа (формула Спитцера). 9. Образование непрерывного спектра в плазме. Свободно-свободные свободно-связанные переходы в нагретом ионизированном газе. 10. Системы и методы плазменной энергетики. Плазменный пиролиз органических веществ. Плазменные системы переработки токсичных отходов. Генераторы низкотемпературной плазмы (плазмотроны), физические основы и техническая реализация. 11. Жидкости. Макроскопические свойства жидкостей. Силы взаимодействия молекул. Явление переноса в жидкостях. 12. Твердые тела. Кристаллическая решетка. Силы связи в решетке. Электронный газ, модель потенциальной ямы Шоттки. 13. Зонная модель. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Работа выхода. Явление сверхпроводимости.
4. Вещество в сильных электромагнитных полях	1. Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Эмиссия электронов из твердого тела. 2. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия. 3. Газовый разряд. Формы разряда в газах, самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. 4. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Изоляционные свойства газовых диэлектриков. Сильноточный газовый разряд в плотных средах. 5. Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Топливные элементы. Технический электролиз. 6. Проводимость жидких изоляторов. Диэлектрические потери. Электрическая прочность и пробой жидких диэлектриков. Ударные волны, генерируемые в конденсированной среде. Разряд в жидкостях. 7. Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Проводимость. Криопроводимость. Сверхпроводимость. 8. Эффект Холла. Термоэлектричество. Электрический взрыв проводников. Диэлектрические потери, электрическая прочность, пробой в твердом диэлектрике. Поверхностный разряд. 9. Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях. Магнитные материалы. 10. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Мейсснера. Остаточное сопротивление.
5. Накопление и коммутация энергии больших мощностей	1. Способы накопления энергии и типы накопителей. Физические ограничения на плотность энергии в накопителях. 2. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Согласование различных видов энергии. 3. Преимущества и недостатки емкостных накопителей энергии. 4. Емкостные накопители энергии на основе малоиндуктивных импульсных конденсаторов. Принципы построения генераторов

	импульсных напряжений и генераторов импульсных токов. 4. Особенности работы коммутаторов в генераторах импульсных напряжений и генераторах импульсных токов. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на основе конденсаторов (вакуумные, газовые, жидкостные разрядники, разрядные колонны). Схемы поджига и синхронизации разрядников. 5. Жидкостные и твердотельные разрядники; 6. Разрядники V/N-типа, рельсовые разрядники. 7. Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии. Оптимизация по напряжению и мощности накопителей энергии на линиях коаксиального типа с распределенными параметрами.
6. Физика сильноточных пучков заряженных частиц	1. Распространение сильноточных пучков в вакууме. Влияние пространственного заряда. Предельный ток пучка в вакууме. 2. Нейтрализация пространственного заряда и самофокусировка пучка. 3. Сильноточный пучок в плазме и газе. Неустойчивости пучка в плазме, электромагнитные поля, возбуждаемые пучком при инжекции. 4. Ионизация газа электронным пучком. Энергозатраты на поддержание плазмы. 5. Способы генерации сильноточных электронных и ионных пучков. 6. Взрывная эмиссия в сильноточном диоде. Плоский диод в режиме Богуславского-Ленгмюра. 7. Волны и неустойчивости в сильноточных пучках заряженных частиц. 8. Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространственного заряда пучка.
7. Физика и техника устройств на основе низкотемпературной плазмы	1. Процессы в низкотемпературной плазме. Основные параметры плазмы. Типы газовых разрядов. 2. Плазмотроны, используемые в плазмохимии и металлургии. Устройства на основе электрических дуговых разрядов. 3. Плазменные генераторы, использующие высокочастотные разряды разных типов. 4. Плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе совместного применения мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей. 5. Физика приэлектродных процессов в сильноточных дуговых разрядах. Образование катодных пятен и эрозия материала катода.
8. Компьютерные технологии	1. Расчет периодических структур методом Т-матриц. 2. Метод разностных схем. 3. Консервативные разностные схемы, метод прогонки. 4. Расчет периодических структур с использованием консервативных разностных схем. 5. Учёт дисперсии материальных параметров при расчёте методом конечных разностей. 6. Нахождение рассеяния на системе тел, при помощи функции грин, методы расчета трёхмерных периодических структур. 7. Особенности современных расчетных пакетов программ.

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

11.1 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Институт располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебными планами аспирантов, а также эффективное выполнение диссертационной работы. Лаборатории Института оснащены оборудованием для проведения научных исследований в области электрофизики, электродинамики, техники СВЧ и родственных направлений в соответствии с паспортом специальности.

В Институте построены уникальные установки для экспериментальных исследований. Библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, журналы.

11.2 Образовательные технологии. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

12.1 Основная литература

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Физматлит, 2003.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 2. Теория поля / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматлит, 2005.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 5. Электродинамика сплошных сред. / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматлит, 2005.
4. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). / Издание 6-е, исправленное. — М.: Физматлит, 2004.
5. Савельев И.В. Основы теоретической физики, т.1, т.2 / 2-е изд., М.: Наука. 1991.
6. Попов В.И. Основы теории цепей/ 7-е издание, переработанное и дополненное, Юрайт-Издат, 2013.
7. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. / Издание 5-е, переработанное, М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, т.1. М.: Мир, 1979.
9. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников / Изд.2-е, перераб. и доп.. М.: Наука, 1990.
10. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. Изд.3, испр. и доп., М.: URSS, 2009.
11. Лебедев И.В. Техника и приборы сверхвысоких частот. М.: Высш.шк., 1972.
12. Виноградов А.П. Электродинамика композитных материалов / Под ред. Б.З. Каценеленбаума, М.: Эдиториал УРСС, 2001.

13. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
14. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М.: Мир, 1969.
15. де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М.: Мир, 1968
16. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
17. Маделунг О. Теория твердого тела. М.: Наука, 1980
18. Шнеерен Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов. Изд. 2-е, М.: Энергоатомиздат, 1992.
19. Техника высоких напряжений / Под ред. М.С.Костенко, М.: Высш.шк., 1973.
20. Накопление и коммутация энергии больших плотностей / Под ред. У. Бостика, М.: Мир, 1979.
21. Физика высоких плотностей энергии / Под ред. П. Кальдаролы, Г. Кнопфеля, М.: Мир, 1974.
22. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля, М.: Мир, 1972.
23. Р. Миллер, Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц, М.: Мир, 1984.
24. Е.А. Абрамян, Б.А. Альтеркоп, Г.Д. Кулешов. Интенсивные электронные пучки. Энергоатомиздат, 1984.
25. С.И. Молоковский, А.Д. Сушков. Интенсивны электронные и ионные пучки. 2 изд., М., 1991.
26. Зельдович И.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
27. Смирнов Б. М., Введение в физику плазмы, 2 изд., М., 1982.
28. Биберман Л. М., Воробьев В. С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы, М., 1982.
29. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры, М.: Мир, 1977.
30. Демирчян К.С., Чечурин В.А. Машинные расчеты электромагнитных полей. М.: Высш.шк., 1986.
31. Бутырин П.А., Козьмина И.С., Миронов И.В. Основы компьютерных технологий электротехники. М.: Изд-во МАИ, 2000.
32. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры, М.: Мир, 1977.

12.2. Дополнительная литература

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика / Под ред. Ю.В. Пименова, М.: Радио и связь, 2000.
2. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн, М.: Радио и связь, 2000.
3. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. / Изд. 2-ое, М.: URSS, 2012.
4. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. / Изд. 6-ое, М.: URSS, 2012
5. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ, М.: Высш.шк., 1990.
6. Черенкова Е.Л., Чернышов О.В. Распространение радиоволн, М.: Радио и связь, 1988.
7. М.М.Бредов, В.В.Румянцев, И.Н.Топтыгин. Классическая электродинамика. Санкт Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2003.
8. P. S. Neelakanta, Handbook of electromagnetic materials, IEEE Press, 1995.
9. A.N. Lagarkov and K.N. Rozanov, "High-frequency behavior of magnetic composites," J. Magn. Magn. Mater., vol. 321, pp. 2082–2092, Jul. 2009.
10. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. – 4 изд./ – СПб.: Питер, 2003.
11. Купцов А. М. Основы теории цепей. Томск: Изд. ТПУ, ч.1 2001, ч.2, 2000.

12. Купцов А. М. Теоретические основы электротехники. Решения типовых задач. – Томск: Изд. ТПУ, ч.1, 2003. ч. 2, 2001.
13. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебное пособие. М.: Инфра-М, 2005.
14. Пайерлс Р. Квантовая теория твердых тел. М.: ИЛ, 1956.
15. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.: ГИФМЛ, 1963.
16. Займан Дж. Электроны и фононы. Теория явлений переноса в твердых телах. М.: ИЛ, 1962.
17. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М.: Мир, 1969.
18. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. М.: Энергоатомиздат, 1990.
19. Л.О.Чуа, Лен-Мин Лин Машинный анализ электронных схем. М.: Энергия, 1980.

12.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля) Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных:

Стандартные пакеты MS Office.

<http://www.ihed.ras.ru/rusbank/>/<http://www.nist.gov/pml/data/index.cfm>

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1604/?t=492> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.exponenta.ru> – образовательный физический сайт.
3. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
5. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
6. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

12.4 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Для контроля и коррекции знаний обучающиеся могут использовать компьютерное тестирование, в том числе на портале www.i-exam.ru. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab и др.

13. Язык преподавания - русский.

Программу составил



д.ф.-м.н., проф А.П. Виноградов

« 05 » мая 2018 г.