

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

КАФЕДРА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

«СОГЛАСОВАНО»

Декан ФЭ

/ Н.М. Верещагин

«08» 06 2020 г



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор РОПиМД

/ А.В. Корячко

» 06 2020 г

Заведующий кафедрой ЭП

/ М.В. Чиркин

«08» 06 2020 г

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.О.21 «ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

Направление подготовки

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) подготовки

«Электронные приборы и устройства»

Уровень подготовки

Академический бакалавриат

Квалификация выпускника — бакалавр

Форма обучения — очная

Рязань, 2020 г.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»,

утвержденного 19.09.2017 №927

Разработчики

д.т.н., профессор

В.К. Федяев

---

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой «Электронные приборы»

д.ф. - м.н., профессор

М.В. Чиркин

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа по дисциплине «Физические основы электроники» является составной частью основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) академического бакалавриата, разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Минобрнауки России от 12.03.2015 № 218.

Целью изучения дисциплины является формирование систематических знаний в области фундаментальных физических основ работы приборов и устройств вакуумной и плазменной электроники, подготовка студента к освоению последующих дисциплин профессионального цикла, к решению задач, связанных с экспериментальными исследованиями параметров и характеристик приборов вакуумной, плазменной и микроволновой электроники.

Задачи изучения дисциплины распределены между двумя ее модулями, изучаемыми в 4-м и 5-м семестрах соответственно по очной форме обучения.

**Задачи модуля 1:** изучить общие принципы функционирования приборов вакуумной электроники: формирование потоков заряженных частиц, управление потоками заряженных частиц электрическими магнитными полями, преобразование энергии в выходных устройствах и коллекторных системах; ознакомить обучающихся с моделями, программными средствами и методами расчета параметров и характеристик электронных приборов, привить навыки экспериментального исследования приборов.

**Задачи модуля 2:** изучить физические механизмы, определяющие возникновение и существование электрического тока в газе; формы и свойства газового разряда, применяемого в электронике.

Категория (группа) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
ОПК-1	ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	<p><u>Знать:</u> основы физики вакуума и газового разряда; основы эмиссионной электроники, физическую природу токов, протекающих в приборах; статистические, квазистатические и динамические методы управления токами; формы и свойства газового разряда; параметры и характеристики приборов и методы их расчета.</p> <p><u>Уметь:</u> анализировать физическую сущность процессов при движении зарядов в вакууме и газе; адаптировать современные методы расчета данных процессов к потребностям электроники и наноэлектроники.</p> <p><u>Владеть:</u> методами применения соответствующего физико-</p>

		математического аппарата для расчета и анализа процессов при движении зарядов в вакууме и газе
--	--	--

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физические основы электроники» (Б1.О.21) является обязательной, относится к базовой части блока 1 дисциплин ОПОП «Электронные приборы и устройства», «Нанотехнологии в электронике», «Промышленная электроника» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» ФГБОУ ВО «РГРТУ».

Дисциплина изучается по очной форме обучения на 2 курсе в 4 семестре (1 модуль) и на 3 курсе в 5 семестре (2 модуль).

*Пререквизиты дисциплины.* Настоящая дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплинах учебного плана: «История развития электроники», «Математика», «Физика», «Химия».

До начала изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:

**знать:** дифференциальное и интегральное исчисление, основы математического анализа, базовые математические модели применительно к задачам электроники, строение атома и твердых тел, основные физические явления; основные факты, базовые концепции и модели квантовой физики, электричества и магнетизма; основные свойства материалов, их применение в элементах электроники и наноэлектроники;

**уметь:** применять на практике основные приемы и программные средства обработки и представления данных в соответствии с задачей исследования процессов в вакууме и газовом разряде;

**владеть:** базовыми навыками экспериментального исследования процессов в вакууме и газовом разряде;

*Взаимосвязь с другими дисциплинами.* Требования к входным знаниям совпадают с требованиями к освоению предшествующих дисциплин: «Математика (Б2.Б.01)», «Физика (Б1.2.Б.02)», «Химия» (Б1.2.Б.03). Дисциплина «Физические основы электроники» (Б1.3.Б.08) содержательно и методологически взаимосвязана с указанными дисциплинами.

*Постреквизиты дисциплины.* Компетенции, полученные в результате освоения дисциплины, необходимы обучающемуся при изучении следующих дисциплин: «Твердотельная электроника», «Физика конденсированного состояния», «Материалы электронной техники», «Основы проектирования электронной компонентной базы», «Тепловые процессы в электронике», «Технология материалов и изделий электронной техники», «Электронные устройства отображения информации», «Микроволновые приборы и устройства», «Элементы электронной техники», «Физика наносистем», НИР, «Преддипломная практика», «Выпускная квалификационная работа».

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц (ЗЕ)(Модуль 1 – 5 ЗЕ, модуль 2 – 2 ЗЕ), 252 часа.

Вид учебной работы	Всего часов	Модуль 1	Модуль 2
--------------------	-------------	----------	----------

<b>Общая трудоемкость дисциплины, в том числе</b>	<b>252</b>	<b>180</b>	<b>72</b>
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе:</b>	96	64	32
Лекции	64	48	16
Лабораторные работы	32	16	16
<b>Самостоятельная работа обучающихся (всего), в том числе:</b>	156	116	40
Экзамены и консультации	40	40	-
Консультации в семестре	12	8	4
Самостоятельные занятия	104	68	36
<b>Вид промежуточной аттестации обучающихся</b>	экзамен, зачет	экзамен	зачет

#### **4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ), СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ**

В структурном отношении программа представлена следующими модулями:

**Модуль 1.** Физические основы вакуумной электроники.

**Модуль 2.** Физика газового разряда.

##### **4.1. Основной тематический план дисциплины:**

##### **Модуль 1. Физические основы вакуумной электроники**

Тема 1. Введение. Физика вакуума.

Тема 2. Физические основы эмиссионной электроники.

Тема 3. Квазистатическое управление потоками электронов.

Тема 4. Физические основы электронной оптики.

Тема 5. Формирование интенсивных электронных пучков.

Тема 6. Принципы управления движением заряженных частиц.

Тема 7. Фотоэффект и его применение для регистрации оптического излучения.

Тема 8. Физические основы микроволновой электроники (электровакуумные приборы).

Тема 9. Физические основы микроволновой электроники (твердотельные приборы).

Тема 10. Преобразование кинетической энергии электронных потоков в другие виды энергии.

Тема 11. Заключение. Перспективы развития вакуумной и микроволновой электроники.

##### **Модуль 2. Физика газового разряда**

Тема 1. Движение зарядов в газе.

Тема 2. Ионизация газа электронами.

Тема 3. Электрический ток в газе в микроамперном диапазоне (темный разряд).

Тема 4. Электрический ток в газе в миллиамперном диапазоне (тлеющий разряд).

Тема 5. Плазма тлеющего разряда.

Тема 6. Электрический ток в газе в амперном диапазоне (дуговой разряд).

Тема 7. Искровой разряд.

Тема 8. Коронный разряд.

Тема 9. Высокочастотный разряд.

Тема 10. Дуговой разряд с накаливаемым катодом.

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

### Модуль 1. Физические основы вакуумной электроники

#### Тема 1. Введение. Физика вакуума.

Основные определения. Классификация областей электроники. Носители зарядов в приборах электроники. Основные физические процессы в приборах электроники. Обобщенная структура электронных приборов.

Понятие о техническом вакууме. Частота соударений молекул газа. Длина свободного пробега молекул. Современные представления о физическом вакууме. Применение вакуума и вакуумных систем в науке и технике.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### Тема 2. Физические основы эмиссионной электроники.

Электроны в металлах и полупроводниках. Работа выхода электронов. Энергетическая и потенциальная диаграмма границы «металл-вакуум». Термоэлектронная эмиссия, формула Ричардсона. Эффект Шоттки. Влияние пленок электроположительного материала на работу выхода. Типы термокатодов.

Вторичная электрон-электронная эмиссия, энергетический спектр вторичных электронов, Оже-эффект. Автоэлектронная эмиссия, формула Фаулера-Нордгейма.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### Тема 3. Квазистатическое управление потоками электронов.

Физические процессы при движении электронов в двухэлектродном промежутке: основные уравнения, искажение распределения электрического поля пространственным зарядом, закон «степени 3/2» для двухэлектродной системы, роль начальных тепловых скоростей электронов. Сравнение закона «степени 3/2» с реальными характеристиками диода. Управление током в 3-х электродной системе. Механизм усиления колебаний напряжения и токораспределение в триоде. Динатронный эффект, методы его устранения. Области применения электронных ламп в современных устройствах.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### Тема 4. Физические основы электронной оптики.

Движение электрона в однородном плоско-параллельном электрическом поле. Движение электронов в неоднородном электрическом поле. Электронные линзы. Типы, свойства и конструкции линз. Электронные пушки. Магнитные фокусирующие системы, длинная магнитная линза, короткая магнитная линза. Принципы электронной микроскопии.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### Тема 5. Формирование интенсивных электронных пучков.

Классификация электронных потоков. Состав систем формирования электронных потоков. Электронные пушки, основные требования, классификация. Методы решения задач формирования электронных потоков, синтез и анализ. Пушки Пирса.

Магнитные фокусирующие системы. Поток Бриллюэна и его формирование. Теорема Буша. Поток Бриллюэна в магнитном поле с экранированным катодом. Практическая конструкция магнитной системы с экранированным катодом. Пульсирующие электронные потоки.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### Тема 6. Принципы управления движением заряженных частиц.

Электростатический метод управления направлением потоков заряженных частиц, электростатические отклоняющие системы. Магнитные отклоняющие системы. Сравнение

электростатического и магнитного отклонения. Аберрации электронно-оптических устройств.

Движение заряженных частиц в квадрупольном электрическом поле. Процесс разделения ионов в квадрупольном масс-спектрометре.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### **Тема 7. Фотоэффект и его применение для регистрации оптического излучения.**

Фотоэлектронная эмиссия. Внутренний и внешний фотоэффект. Законы фотоэффекта. Вакуумные фотоэлементы. Фотоумножители, характеристики, параметры, конструкции, применение. Фотопроводимость и фоторезисторы. Возникновение фото-э.д.с. в р-п-переходе. Принципы построения детекторов оптического излучения на основе фотодиодов на основе кремния и InGaAs.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### **Тема 8. Физические основы микроволновой электроники (электровакуумные приборы).**

Проблема усиления и генерации электромагнитных колебаний в СВЧ диапазоне. Электрические токи, наведенные движущимся зарядом; роль инерции электронов. Скоростная модуляция электронов и их группирование в пространстве дрейфа. Принципы усиления и генерации электромагнитных колебаний в клистронах. Взаимодействие электронного потока и бегущей электромагнитной волны; принцип действия лампы бегущей волны. Управление электронным потоком в скрещенных электрических и магнитных полях: сортировка и группирование электронов в магнетроне.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### **Тема 9. Физические основы микроволновой электроники (твердотельные приборы).**

Твердотельная СВЧ электроника. Энергетическая диаграмма туннельного диода, принцип усиления и генерации колебаний. Физические процессы в диоде Ганна. Междолинный переход электронов. Причины отрицательной дифференциальной проводимости и электрической неустойчивости. Образование домена при протекании тока в полупроводнике с отрицательной дифференциальной проводимостью. Вольтамперная характеристика диода Ганна с доменной неустойчивостью. Физические процессы в лавинно-пролетном диоде (ЛПД). Режимы работы ЛПД (пролетный и аномальный). Вольтамперная характеристика ЛПД. Электронные процессы в областях умножения и дрейфа ЛПД. Образование отрицательной динамической проводимости в пролетном режиме. Особенности СВЧ-транзисторов.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### **Тема 10. Преобразование кинетической энергии электронных потоков в другие виды энергии.**

Преобразование энергии электронного потока в выходных устройствах: в энергию электромагнитного излучения, в рентгеновское излучение, в световое изображение. Тепловой нагрев. Способы отвода тепла, прямоточные коллекторы, коллекторы с рекуперацией.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

#### **Тема 11. Заключение. Перспективы развития вакуумной и микроволновой электроники.**

Перспективы развития вакуумной и микроволновой электроники. Вакуумная нанoeлектроника.

Используемая литература: основная [1-5], дополнительная [1,2].

### **Модуль 2. Физика газового разряда**

**Тема 1. Движение зарядов в газе.**

Движение зарядов в газе под действием электрического поля. Направленная и хаотическая составляющие движения. Физическая модель и исходные математические уравнения для анализа процесса. Вывод формул, отражающих зависимости скорости направленного движения и температуры электронов (ионов) от напряженности поля, давления газа, массы молекул. Подвижность заряженных частиц. Сравнение параметров движения электронов и ионов.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

**Тема 2. Ионизация газа электронами.**

Сущность процесса. Функция ионизации молекул электронами. Математический анализ процесса ионизации при хаотическом движении электронов в газе. Зависимость коэффициента ионизации газа электронами от напряженности электрического поля и давления газа. Константа Столетова.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

**Тема 3. Электрический ток в газе в микроамперном диапазоне (темный разряд).**

Механизм развития электронных лавин. Эмиссия электронов из катода под действием разряда ( $\gamma$  - процессы). Вывод формулы для вольт-амперной характеристики (ВАХ) установленного темного разряда. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Условие возникновения самостоятельного разряда. Зависимость напряжения возникновения самостоятельного разряда от различных факторов. Математический анализ и физическое объяснение кривых Пашена. Методика экспериментального определения коэффициента объёмной ионизации газа электронами.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

**Тема 4. Электрический ток в газе в миллиамперном диапазоне (тлеющий разряд).**

Качественное обоснование характера распределения потенциала и напряжённости поля в межэлектродном промежутке при большом пространственном заряде ионов и электронов. Аналитические соотношения для напряженности поля и потенциала в катодной области. Определение ширины области катодного падения потенциала из уравнения Пуассона. Зависимость граничной плотности тока, с которой проявляется пространственный заряд, от давления и рода газа, межэлектродного расстояния и материала катода.

Теоретическое определение ВАХ тлеющего разряда. Условие существования (стационарности) разряда с учётом влияния пространственного заряда ионов. Нормирование условия и алгоритм численного расчёта ВАХ в универсальных безразмерных координатах. Определение нормирующих коэффициентов. Особенности ВАХ на левой и правой ветвях кривой Пашена. Физический механизм «провала» ВАХ на правой ветви кривой Пашена. Высоковольтная форма разряда.

Нормальный и аномальный тлеющий разряд. Локализация разряда на части поверхности катода («закон Геля»). Устойчивость точек теоретической ВАХ при случайном перераспределении плотности тока по катоду. Физический механизм локализации разряда с учётом разности распределения потенциала в разрядном канале и за его пределами. Зависимость нормального катодного падения потенциала и нормальной плотности тока от давления и рода газа, от материала катода. ВАХ нормального тлеющего разряда при различных значениях давления газа и площади катода.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

**Тема 5. Плазма тлеющего разряда.**

Общая характеристика плазмы и её параметров. Физическая модель процессов, определяющих температуру электронов в плазме. Исходные математические соотношения и до-



пущения диффузионной теории плазмы. Распределение концентрации электронов по радиусу разрядной трубки. Зависимость температуры электронов от давления газа и радиуса трубки. Связь концентрации электронов с током и другими параметрами разряда.

Зондовый метод определения параметров плазмы. Конструкции зондов. Электрические схемы для снятия зондовых характеристик. Физико-математический анализ зависимостей электронной и ионной составляющих зондового тока от напряжения между зондом и плазмой. Физическое объяснение зондовой характеристики. Практическая методика определения температуры и концентрации электронов по зондовым характеристикам.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

#### **Тема 6. Электрический ток в газе в амперном диапазоне (дуговой разряд).**

Качественное описание влияния разогрева катода ионной бомбардировкой на ВАХ разряда. Физико-математическая модель дугового разряда, основанная на учёте термоэмиссии электронов из катода, приводящей к росту коэффициента  $\gamma$ , и условия самостоятельности разряда при большом пространственном заряде. Алгоритм численного решения задачи по определению ВАХ разряда и её ход при различных значениях давления газа и площади катода. Механизм контрагирования (отшнуровывания) положительного столба разряда. Физический механизм разряда с легкоплавким катодом (автоэлектронная дуга).

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

#### **Тема 7. Искровой разряд.**

Стримерный механизм развития разряда. Роль фотоионизации и локального пространственного заряда. Экспериментальное наблюдение стримеров. Теория развития стримеров. Условия Мика и Лёба для возникновения стримеров. Аналитическое определение зависимости напряжения возникновения искрового разряда от давления газа и межэлектродного расстояния.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

#### **Тема 8. Коронный разряд.**

Условие возникновения самостоятельного разряда для цилиндрических электродов. Радиальное распределение потенциала и напряжённости поля в промежутке. Механизмы обеспечения самостоятельности разряда при положительной и отрицательной короне. Физические причины снижения напряжения возникновения разряда при малом радиусе кривизны одного или обоих электродов. Численный расчёт зависимости напряжения возникновения отрицательной короны от давления газа и межэлектродного расстояния. Биполярный коронный разряд.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

#### **Тема 9. Высокочастотный разряд.**

Условие возникновения разряда, основанное на балансе ионизации газа и ухода зарядов на электроды за счёт амбиполярной диффузии. Численный расчёт зависимости напряжения возникновения разряда от давления газа и межэлектродного расстояния. Распределение потенциала в промежутке. Приэлектродные слои. Разряд с внешними электродами.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

#### **Тема 10. Дуговой разряд с искусственно накаливаемым катодом.**

Ограничение электронного тока отрицательным пространственным зарядом. Закон «степени 3/2» для тока в газе. Влияние пространственного заряда ионов на распределение потенциала в межэлектродном промежутке и на ионизационные процессы. ВАХ разряда.

Используемая литература: основная [1-6], дополнительная [1-4].

#### 4.3. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№ п/п	Тема	Общая трудоемкость, всего часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа обучающихся
			всего	лекции	лабораторные работы	
1	2	3	4	5	7	8
	<b>Модуль 1</b>	<b>180</b>	<b>64</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>116</b>
1	Введение. Физика вакуума	7	3	3		4
2	Физические основы эмиссионной электроники	11	5	5		6
3	Квазистатическое управление потоками электронов	17	9	5	4	8
4	Физические основы электронной оптики	17	9	5	4	8
5	Формирование интенсивных электронных пучков	16	8	4	4	8
6	Принципы управления движением заряженных частиц	16	8	4	4	8
7	Фотоэффект и его применение для регистрации оптического излучения	10	4	4		6
8	Физические основы микроволновой электроники (электровакуумные приборы)	12	6	6		6
9	Физические основы микроволновой электроники (твердотельные приборы)	12	6	6		6
10	Преобразование кинетической энергии электронных потоков в другие виды энергии	10	4	4		6
11	Заключение. Перспективы развития вакуумной и микроволновой электроники	4	2	2		2
12	Экзамены и консультации	40				40
13	Консультации в семестре	8				8
	<b>Модуль 2</b>	<b>72</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>40</b>
1	Движение зарядов в газе	4	2	2		2
2	Ионизация газа электронами	12	6	2	4	6
3	Электрический ток в газе в микроамперном диапазоне (темный разряд)	12	6	2	4	6

4	Электрический ток в газе в миллиамперном диапазоне (тлеющий разряд)	10	4	2	2	6
5	Плазма тлеющего разряда	12	6	2	4	6
6	Электрический ток в газе в амперном диапазоне (дуговой разряд)	6	4	2	2	2
7	Искровой разряд	3	1	1		2
8	Коронный разряд	3	1	1		2
9	Высокочастотный разряд	3	1	1		2
10	Дуговой разряд с накаливаемым катодом	3	1	1		2
11	Консультации в семестре	4				4
	<b>Всего:</b>	<b>252</b>	<b>96</b>	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>156</b>

#### 4.4. Лабораторный практикум

##### Модуль 1

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тема лабораторных занятий	Трудо-емкость
1	3	Исследование процессов управления катодным током в двухэлектродной системе	4
2	4	Управление током в трехэлектродной системе	4
3	5	Исследование динаatronного эффекта и методов его устранения	4
4	6	Управление электронным лучом в электронно-лучевых приборах	4
Итого:			32

##### Модуль 2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тема лабораторных занятий	Трудо-емкость
1	2	Ионизация газа электронами	4
2	3	Пробой газа. Возникновение самостоятельного разряда. Кривые Пашена	4
3	4,6	Вольт-амперная характеристика газоразрядного промежутка	4
4	5	Плазма положительного столба тлеющего разряда	4
Итого:			32

#### 4.5. Перечень учебно-методического обеспечения лабораторных занятий

##### Модуль 1

1. Физические основы электроники – Методические указания к лабораторным работам/ Рязанский гос. радиотехнич. ун-т; сост.: Т.А. Глебова, В.Н. Козлов, В.К. Федяев; пол. Ред. В.К. Федяева. Рязань: РИЦ РГРТУ, 2014 г.
2. Шука А.А. Электроника: Под ред. Сигова А.С. – СП-б.: БХВ-Петербург. 2006. 800с.
3. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы. СПб. «Издательство» Лань», 2004. С. 5-35, 393-406.

## Модуль 2

1. Физика газового разряда - Методические указания к лабораторным работам. \ Рязань: РИЦ РГРТУ, 2014,. № 4210.
2. Коротченко В. А., Физические основы электроники. Газовый разряд. \ Рязань: РИЦ РГРТУ, 2013 г.

## 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Самостоятельное изучение тем учебной дисциплины способствует: закреплению знаний, умений и навыков, полученных в ходе аудиторных занятий; углублению и расширению знаний по отдельным вопросам и темам дисциплины; освоению умений прикладного и практического использования полученных знаний; освоению умений по исследованию физических процессов в вакууме и газовом разряде.

Самостоятельная работа как вид учебной работы может использоваться на лекциях, лабораторных занятиях, а также иметь самостоятельное значение – внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся – при подготовке к лекциям, семинарам и лабораторным занятиям, написании рефератов, докладов, подготовке к экзамену и зачету.

Основными видами самостоятельной работы по дисциплине являются: самостоятельное изучение отдельных вопросов и тем курса, составление аналитического отчета по темам, ответы на тестовые задания, отчеты по лабораторным работам с периодичностью 1 раз в четыре недели.

### 5.1. Наименование тем, форма отчетности и трудоемкость самостоятельных занятий обучающихся

#### Модуль 1

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
1	Введение. Физика вакуума	Самостоятельная работа обучающегося	Основные физические процессы в приборах электроники. Современные представления о физическом вакууме. Применение вакуума и вакуумных систем в науке и технике. Изучение конспекта лекций.	4
2	Физические основы эмиссионной электроники	Самостоятельная работа обучающегося	Электроны в металлах и полупроводниках. Энергетическая и потенциальная диаграмма границы «металл-вакуум». Виды электронной эмиссии. Изучение конспекта лекций.	6

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудо- ем- кость, часов
3	Квазистатическое управление потоками электронов	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение физических процессов при движении электронов в межэлектродном пространстве. Области применения электронных ламп в современных устройствах. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	8
4	Физические основы электронной оптики	Самостоятельная работа обучающегося	Движение электронов в однородном и неоднородном электрических полях. Электростатические и магнитные линзы. Принципы электронной микроскопии. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	8
5	Формирование интенсивных электронных пучков	Самостоятельная работа обучающегося	Классификация электронных потоков. Электронные пушки. Методы решения задач формирования электронных потоков, синтез и анализ. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	8
6	Принципы управления движением заряженных частиц	Самостоятельная работа обучающегося	Методы управления направлением движения заряженных частиц. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	8
7	Фотоэффект и его применение для регистрации оптического излучения	Самостоятельная работа обучающегося	Фотоэлектронная эмиссия. Внутренний и внешний фотоэффект. Законы фотоэффекта. Фотоприборы на основе внешнего и внутреннего фотоэффекта. Изучение конспекта лекций	6

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
8	Физические основы микроволновой электроники (электровакуумные приборы)	Самостоятельная работа обучающегося	Принципы усиления и генерации электромагнитных колебаний в клистродах, лампах бегущей волны. Управление электронным потоком в скрещенных электрических и магнитных полях. Изучение конспекта лекций	6
9	Физические основы микроволновой электроники (твердотельные приборы)	Самостоятельная работа обучающегося	Твердотельная СВЧ электроника. Физические процессы в туннельном диоде, диоде Ганна, лавинно-пролетном диоде, СВЧ-транзисторах. Изучение конспекта лекций	6
10	Преобразование кинетической энергии электронных потоков в другие виды энергии	Самостоятельная работа обучающегося	Преобразование энергии электронного потока в выходных устройствах: в энергию электромагнитного излучения, в рентгеновское излучение, в световое изображение. Изучение конспекта лекций	6
11	Заключение. Перспективы развития вакуумной и микроволновой электроники	Самостоятельная работа обучающегося	Перспективы развития вакуумной и микроволновой электроники. Вакуумная наноэлектроника. Изучение конспекта лекций. Подготовка к экзамену	2
12	Экзамены и консультации	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций. Подготовка к экзамену	40
13	Консультации в семестре	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций. Подготовка к экзамену	8

## Модуль 2

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
1	Движение зарядов в газе	Самостоятельная работа обучающегося	Движение зарядов в газе под действием электрического поля. Физическая модель и исходные математические уравнения для анализа процесса. Вывод фор-	2

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
			мул, отражающих зависимости скорости направленного движения и температуры электронов (ионов) от напряженности поля, давления газа, массы молекул. Изучение конспекта лекций.	
2	Ионизация газа электронами	Самостоятельная работа обучающегося	. Функция ионизации молекул электронами. Математический анализ процесса ионизации при хаотическом движении электронов в газе. Зависимость коэффициента ионизации газа электронами от напряженности электрического поля и давления газа. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	6
3	Электрический ток в газе в микроамперном диапазоне (темный разряд)	Самостоятельная работа обучающегося	Механизм развития электронных лавин. Эмиссия электронов из катода под действием разряда. Вывод формулы для вольт-амперной характеристики (ВАХ) установившегося темного разряда. Самостоятельный и не-самостоятельный разряды. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	6
4	Электрический ток в газе в миллиамперном диапазоне (тлеющий разряд)	Самостоятельная работа обучающегося	Теоретическое определение ВАХ тлеющего разряда. Условие существования (стационарности) разряда с учётом влияния пространственного заряда ионов. Физический механизм локализации разряда с учётом разности распределения потенциала в разрядном канале и за его пределами. Изучение конспекта лекций. Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.	6

№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
5	Плазма тлеющего разряда	Самостоятельная работа обучающегося	<p>Физическая модель процессов, определяющих температуру электронов в плазме. Исходные математические соотношения и допущения диффузионной теории плазмы.</p> <p>Физико-математический анализ зависимостей электронной и ионной составляющих зондового тока от напряжения между зондом и плазмой.</p> <p>Изучение конспекта лекций.</p> <p>Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.</p>	6
6	Электрический ток в газе в амперном диапазоне (дуговой разряд)	Самостоятельная работа обучающегося	<p>Физико-математическая модель дугового разряда. Алгоритм численного решения задачи по определению ВАХ разряда и её ход при различных значениях давления газа и площади катода. Физический механизм разряда с легкоплавким катодом (автоэлектронная дуга).</p> <p>Изучение конспекта лекций.</p> <p>Подготовка к лабораторной работе (ЛР). Подготовка к сдаче ЛР, оформление отчета.</p>	2
7	Искровой разряд	Самостоятельная работа обучающегося	<p>Стримерный механизм развития разряда. Аналитическое определение зависимости напряжения возникновения искрового разряда от давления газа и межэлектродного расстояния.</p> <p>Изучение конспекта лекций</p>	2
8	Коронный разряд	Самостоятельная работа обучающегося	<p>Условие возникновения самостоятельного разряда для цилиндрических электродов. Механизмы обеспечения самостоятельности разряда при положительной и отрицательной короне. Численный расчёт зависимости напряжения возникновения отрицательной короны от давления газа и межэлектродного расстояния.</p> <p>Изучение конспекта лекций</p>	2



№ п/п	Тема	Вид работы	Наименование и содержание работы	Трудоемкость, часов
9	Высокочастотный разряд	Самостоятельная работа обучающегося	Условие возникновения разряда, основанное на балансе ионизации газа и ухода зарядов на электроды за счёт амбиполярной диффузии. Изучение конспекта лекций	2
10	Дуговой разряд с накаливаемым катодом	Самостоятельная работа обучающегося	Влияние пространственного заряда ионов на распределение потенциала в межэлектродном промежутке и на ионизационные процессы. ВАХ разряда. Изучение конспекта лекций. Подготовка к теоретическому зачету	2
11	Консультации в семестре	Самостоятельная работа обучающегося	Изучение конспекта лекций. Подготовка к теоретическому зачету	4

## 5.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельных занятий

### Модуль 1

1. Физические основы электроники – Методические указания к лабораторным работам/ Рязанский гос. радиотехнич. ун-т; сост.: Т.А. Глебова, В.Н. Козлов, В.К. Федяев; пол. Ред. В.К. Федяева. Рязань: РИЦ РГРТУ, 2014 г.
2. Щука А.А. Электроника: Под ред. Сигова А.С. – СПб.: БХВ-Петербург. 2006. 800с.
3. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы. СПб. «Издательство» Лань», 2004. С. 5-35, 393-406.
4. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. - СПб.: Питер, 2003. - 512 с.
5. Фридрихов С.А., Мовнин С.М. Физические основы электронной техники. – М., Высшая школа. 1982.

### Модуль 2

1. Коротченко В. А., Физические основы электроники. Газовый разряд. \ Рязань: РИЦ РГРТУ, 2013 г.
2. Физика газового разряда - Методические указания к лабораторным работам. \ Рязань: РИЦ РГРТУ, 2014., № 4210.
3. Фридрихов С.А., Мовнин С.М. Физические основы электронной техники.- М.: Высшая школа, 1982г.
4. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники.- М.:Высшая школа, 1979г.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда.- М.: Наука, 1987г.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Фонд оценочных средств приведен в Приложении к рабочей программе дисциплины (см. «Оценочные материалы по дисциплине «Физические основы электроники»).

## **7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **7.1. Основная учебная литература**

#### **Модуль 1:**

1. Щука А.А. Электроника: Под ред. Сигова А.С. – СПб.: БХВ-Петербург. 2006. 800с.
2. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы. СПб. «Издательство» Лань», 2004. С. 5-35, 393-406.
3. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. - СПб.: Питер, 2003. - 512 с.
4. Фридрихов С.А., Мовнин С.М. Физические основы электронной техники. – М., Высшая школа. 1982.
5. Физические основы электроники – Методические указания к лабораторным работам/ Рязанский гос. радиотехнич. ун-т; сост.: Т.А. Глебова, В.Н. Козлов, В.К. Федяев; пол. Ред. В.К. Федяева. Рязань: РИЦ РГРТУ, 2014 г.

#### **Модуль 2:**

1. Щука А.А. Электроника: Под ред. Сигова А.С. – СПб.: БХВ-Петербург. 2006.
2. Коротченко В. А., Физические основы электроники. Газовый разряд. \ Рязань: РИЦ РГРТУ, 2013 г.
3. Физика газового разряда - Методические указания к лабораторным работам. \ Рязань: РИЦ РГРТУ, 2014,. № 4210.
4. Фридрихов С.А., Мовнин С.М. Физические основы электронной техники.- М.: Высшая школа, 1982г.
5. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники.- М.:Высшая школа, 1979г.
6. Райзер Ю.П. Физика газового разряда.- М.: Наука, 1987г.

### **7.2. Дополнительная учебная литература**

#### **Модуль 1:**

1. Соболева Н.А., Меламед А.Е. Фотоэлектронные приборы.- М., Высшая школа. 1974.
2. Жигарев А.А. Электронная оптика и электронно-лучевые приборы. – М., Энергия. 1971.

#### **Модуль 2:**

1. Месяц Г. А. Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004.
2. Базелян Э. М., Райзер Ю. П. Искровой разряд. – М.: МФТИ, 1997.
3. Ворончев Т.А., Соболев В.Д. Физические основы электровакуумной техники.- М.: Высшая школа, 1967г.
4. Грановский В.П. Электрический ток в газе.- М.: ГИТТЛ, 1953, т.1, т.2 М.: Наука, 1970.

## **8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ИНТЕРНЕТ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Электронные образовательные ресурсы:**

- 1) Электронно-библиотечная система «IPRBook». ЭБС издательства «IPRBook» [Электронный ресурс]. – URL: <http://iprbookshop.ru/>
- 2) Электронно-библиотечная система «Лань». ЭБС издательства «Лань» [Электронный ресурс]. – URL: <http://e.lanbook.com>

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **9.1. Рекомендации по планированию и организации времени, необходимого для изучения дисциплины**

Рекомендуется следующим образом организовать время, необходимое для изучения дисциплины:

Изучение конспекта лекции в тот же день, после лекции – 10-15 минут.

Изучение конспекта лекции за день перед следующей лекцией – 10-15 минут.

Изучение теоретического материала по учебнику и конспекту – 1 час в неделю.

### **9.2. Описание последовательности действий студента («сценарий изучения дисциплины»)**

При изучении дисциплины очень полезно самостоятельно изучать материал, который еще не прочитан на лекции не применялся на лабораторном занятии. Тогда лекция будет гораздо понятнее. Однако легче при изучении курса следовать изложению материала на лекции. Для понимания материала и качественного его усвоения рекомендуется такая последовательность действий:

1). После прослушивания лекции и окончания учебных занятий, при подготовке к занятиям следующего дня, нужно сначала просмотреть и обдумать текст лекции, прослушанной сегодня (10-15 минут).

2). При подготовке к следующей лекции, нужно просмотреть текст предыдущей лекции, подумать о том, какая может быть тема следующей лекции (10-15 минут).

В течение недели выбрать время (минимум 1 час) для работы с литературой в библиотеке.

### **9.3. Рекомендации по работе с литературой**

Теоретический материал курса становится более понятным, когда дополнительно к прослушиванию лекции и изучению конспекта, изучаются и книги по дисциплине. Литературу по курсу рекомендуется изучать в библиотеке. Полезно использовать несколько учебников по курсу. Рекомендуется после изучения очередного параграфа ответить на несколько простых вопросов по данной теме. Кроме того, очень полезно мысленно задать себе следующие вопросы (и попробовать ответить на них): «о чем этот параграф?», «Какие новые понятия введены, каков их смысл?».

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», ОПОП «Электронные приборы и устройства», «Нанотехнологии в электронике», «Промышленная электроника» при изучении студентами дисциплины «Физические основы электроники» реализация компетентностного подхода

предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных технологий проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой преподавателя и студента.

Изучение дисциплины предусматривает применение активных форм проведения занятий с целью формирования и развития общепрофессиональных и профессиональных компетенций обучающихся.

При проведении самостоятельной работы обучающихся используются следующие информационные технологии:

- сеть Интернет, с помощью которой обеспечивается доступ к актуальной научно-методической и научно-технической информации;
- необходимое программное обеспечение для выполнения программы дисциплины, установленное в вузе, а также для выполнения самостоятельной работы в домашних условиях.

**Перечень лицензионного программного обеспечения:**

1. операционная система Windows XP (корпоративная лицензия);
2. пакет Libre Office или иное свободно распространяемое программное обеспечение (лицензия LGPL).

При организации самостоятельной работы студентов используется комплекс учебных и учебно-методических материалов в сетевом доступе (программа, методические пособия, список рекомендуемых источников литературы и информационных ресурсов, задания в тестовой форме и вопросы для самоконтроля).

Принятая технология обучения предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Образовательные технологии включают следующие формы и методы:

- лекции сопровождаются демонстрациями иллюстративного материала при помощи мультимедийных средств;
- студенты обеспечиваются рабочими местами в лаборатории Физических основ электроники, оснащенной комплектом измерительного лабораторного оборудования, предназначенного для исследования электровакуумной физики и физики газового разряда;
- студенты обеспечиваются современной учебной литературой и методиками повышения эффективности усвоения учебного материала.

Изучение дисциплины «Физические основы электроники» предусматривает применение активных форм проведения занятий с использованием технологий проблемно-ориентированного обучения. Принятые технологии обучения базируются на интерактивной работе в аудитории, когда в процессе лекций и лабораторных занятий, дополняемых самостоятельной работой обучаемых, в том числе и с участием преподавателя, выполняется серия расчетно-теоретических заданий. Это позволяет практически применить полученные знания, развивая принятые для данной дисциплины компетенции. Выбранные технологии эффективно поддерживают достижение принятых для данной дисциплины общепрофессиональных и профессиональных компетенций. Проведение занятий осуществляется с использованием компьютеров и мультимедийных средств, наглядных пособий, а также раздаточных материалов.

**11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

Для освоения дисциплины необходимы:

1. лекционная аудитория с достаточным количеством посадочных мест, соответствующая необходимым противопожарным нормам и санитарно-гигиеническим требованиям, оборудованная средствами отображения презентаций и других лекционных материалов на

экран;

2. аудитория для проведения лабораторных работ, оборудованная лабораторными стендами и специальным оборудованием для проведения исследований и измерений в цепях постоянного и переменного тока.

3. образцы отчетов по лабораторным работам.

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и микроэлектроника (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Минобрнауки России от 03.09.2015 г. № 955. ОПОП «Электронные приборы и устройства», «Нанотехнологии в электронике», «Промышленная электроника» (квалификация выпускника – бакалавр, форма обучения – очная).

Программу составил

профессор кафедры «Электронные приборы»

д.т.н., профессор

В.К. Федяев