

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Трехгорный технологический институт –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ТТИ НИЯУ МИФИ)

**КАФЕДРА
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

УТВЕРЖДАЮ


Зам. директора
Т.В.Труфанова
« 25 » июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ»**

Специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Специализация: Проектирование и технология радиоэлектронных систем и комплексов

Квалификация (степень) выпускника: инженер

Форма обучения: очная

Трехгорный
2025

1 ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели дисциплины

Целью учебной дисциплины «Физические эффекты в радиоэлектронике» является изучение физики электронных процессов в вакууме, газах, твердых телах, на границах раздела сред и принципов построения и работы электронных приборов различного назначения.

1.2 Задачи дисциплины

Задача дисциплины – изучение физических основ вакуумной и плазменной электроники: законы эмиссии, основы физики твердого тела; принципы использования физических эффектов в твердом теле в электронных приборах и устройствах твердотельной электроники; конструкции, параметры, характеристики; основные физические процессы, лежащие в основе принципов действия приборов и устройств микроволновой электроники, их параметры и характеристики, конструкции и области применения; основные физические процессы, лежащие в основе действия приборов квантовой и оптической электроники, а также особенности оптических методов передачи и обработки информации.

2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Физические эффекты в радиоэлектронике» относится к обязательной части блока дисциплин учебного плана.

Освоение обучающимися дисциплины «Физические эффекты в радиоэлектронике» опираются на знания, умения и навыки, приобретенные в результате освоения предшествующих дисциплин:

- Электроника;
- Схемо- и системотехника электронных средств;

Знания, умения и навыки, полученные при освоении дисциплины «Физические эффекты в радиоэлектронике», являются необходимыми для освоения последующих дисциплин:

- Физические основы микро- и наноэлектроники,
а также при прохождении производственной практики.

1 КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Компетенции студента, формируемые в результате освоения учебной дисциплины

Изучение дисциплины «Физические эффекты в радиоэлектронике» направлено на формирование у студентов следующих компетенций:

– способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения (ОПК-2).

3.2 Перечень результатов образования, формируемых дисциплиной, с указанием уровня их освоения

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

– современное состояние области профессиональной деятельности (З-ОПК-2);

уметь:

– искать и представлять актуальную информацию о состоянии предметной области (У-ОПК-2);

владеть:

– навыками работы за персональным компьютером, в том числе пакетами прикладных программ для разработки и представления документации (В-ОПК-2).

3.3 Воспитательная работа

Направление/ цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин
Профессиональный модуль		
Профессиональное воспитание	- формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях,

	исследований и их последствия (B17)	обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
	- формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
	- формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик "Основы научных исследований", «"Учебная практика (научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)" для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик "Введение в специальность", "Основы научных исследований", "Учебная практика (научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.

	- формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20); - формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21); - формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
	- формирование культуры информационной безопасности (B23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.
УГНС 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи»:	- формирование навыков коммуникации и командной работы при разработке электронных средств (B27); - формирование культуры безопасности при работе в электромонтажной и электрорадиомонтажной лаборатории (B28)	1. Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин "Основы конструирования электронных средств", "Схемо- и системотехника электронных средств", "Технология производства электронных средств", "Конструирование механизмов и несущих конструкций радиоэлектронных средств", "Конструирование деталей и узлов радиоэлектронных средств» для формирования профессиональной коммуникации, а также привития навыков командной работы за счет использования методов коллективных форм познавательной деятельности, командного выполнения учебных заданий по разработке электронных средств, курсовых работ/проектов и защиты их результатов; 2. Использование воспитательного потенциала учебной практики и профильной дисциплины "Технология поверхностного монтажа" для

		формирования культуры безопасности при работе в электромонтажной и электрорадиомонтажной лаборатории через выполнение студентами практических заданий.
--	--	--

4 СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины в 6 семестре составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Макс. балл за раздел*
			Лекции	Лаб. работы	Прак. работы	Самост. работа			
6 семестр									
1	Раздел 1	1-4	6	-	6	7	Т1-2	КР1-4	10
2	Раздел 2	5-9	6	2	8	8	ЛР1-7	Т2 -9	15
3	Раздел 3	10-13	6	2	4	7	ЛР2-11	Т3-13	10
4	Раздел 4	14-17	6	2	4	7	Т4-14, ЛР3-15	КР2-17	15
Итого			24	6	22	29			50
Экзамен			27						50
Итого за семестр									100

4.1 Содержание лекций

Раздел 1

Вакуумная и газоразрядная электроника.

Электрон и его свойства. Электроны в металлах. Термоэлектронная эмиссия металлов. Вывод и анализ уравнения Ричардсона-Дэшмана. Простые металлические термокатоды. Влияние адсорбции атомов и молекул на работу выхода электронов из металла. Пленочные термокатоды. Эффект Шоттки. Эмиссия с поверхности полупроводников. Оксидный катод. Фотоэлектронная эмиссия. Основные

закономерности, сложные фотокатоды. Вторичная электронная эмиссия и её применение в приборах. Фотоэлектронные умножители. Автоэлектронная эмиссия. Экзоэлектронная эмиссия. Эмиссия электронов под действием ионной бомбардировки.

Электронная оптика - основные понятия. Электронные линзы. Движение электронов в магнитных полях. Магнитные линзы. Электронно-оптические системы и принципы их построения. Особенности формирования интенсивных пучков. Ионно-оптические системы. Отклонение электронов в электрических и магнитных полях. Отклоняющие системы. Принципы построения и работы электронно-лучевых приборов. Приемные, передающие, запоминающие ЭЛТ. Электронно-оптические преобразователи.

Движение электронов в режиме объемного заряда. Вольт-амперная характеристика вакуумного диода. Физические основы работы вакуумных триодов, тетродов, пентодов. Особенности движения электронов в СВЧ-полях. Наведённые токи. Физические основы работы клистронов, ламп бегущей волны, магнетронов.

Основные направления развития вакуумной электроники.

Движение электронов в газах. Столкновения. Элементарные процессы при столкновениях электронов с атомами и молекулами. Несамостоятельный разряд и его применение в приборах. Пробой разрядного промежутка. Закон Пашина. Тлеющий разряд. Феноменологическое описание. Теория катодных областей разряда. Приборы тлеющего разряда. Физические основы дугового и искрового разряда. ВЧ и СВЧ разряды. Коронный разряд. Применение разрядов. Плазма - основные понятия. Параметры плазмы и их определение. Диффузионная теория плазмы. Особенности теории плазмы низкого и высокого давлений. Излучение плазмы и его применение в приборах. Газоразрядные индикаторные панели. Газоразрядные лазеры. Основные направления развития газоразрядной электроники. Физические эффекты в твердых и газообразных диэлектриках.

Поляризация, электропроводность, диэлектрические потери, проницаемость. Электропроводность диэлектриков, диэлектрические потери, диэлектрическая проницаемость, электрическая прочность, виды пробоя в диэлектриках. Сегнетодиэлектрики. Пьезоэлектрики. Активные диэлектрики. Электропроводность газообразных диэлектриков. Электролюминесценция, катодолуминесценция.

Раздел 2

Твердотельная электроника и микроэлектроника.

Свойства полупроводников. Влияние температуры, света, внешнего поля на электропроводность полупроводника. Термисторы, фоторезисторы, варисторы. П-Р переход и его свойства. Вывод формулы вольт-амперной характеристики п-р перехода. Пробой п-р перехода. Полупроводниковые диоды: классификация, характеристики, применение. Физические основы работы биполярного транзистора. Подход к расчету транзисторов. Ширина и емкость п-р перехода. Физические основы работы полевых транзисторов. МДП-транзисторы. Физические основы работы диодов Ганна, туннельных диодов, лавиннопролетных диодов. Многослойные структуры. Физические основы микроэлектроники. Классификация микросхем по степени интеграции и функциональному назначению. Элементы и компоненты микросхем.

Фотоэлектронные эффекты в п-р переходах. Фотодиоды, фототранзисторы, светодиоды, полупроводниковые лазеры. Основы оптоэлектроники. Основные направления развития твердотельной электроники.

Раздел 3

Квантовая электроника.

Исторические этапы развития квантовой электроники. Энергетические состояния атомов, молекул и твердых тел. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными системами и твердыми телами. Спонтанные и вынужденные переходы, форма и ширина спектральных линий.

Усиление и генерация оптического излучения, методы создания инверсии. Резонаторы оптического диапазона. Активные среды лазеров. Общие особенности и характеристики лазерного излучения.

Твердотельные лазеры, типы, особенности устройства, основные характеристики, области применения.

Газовые лазеры, устройство и принципы работы. Атомные, ионные, молекулярные газовые лазеры. Лазеры на самоограниченных переходах, эксимерные лазеры. Области применения газовых лазеров.

Фотоэлектрические явления и излучательная рекомбинация в полупроводниках. Полупроводниковые лазеры, типы, особенности устройства, основные характеристики, области применения.

Жидкостные лазеры, типы, особенности устройства, основные характеристики, области применения.

Раздел 4

Оптическая электроника.

Исторические этапы развития оптической электроники. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными системами и твердыми телами.

Физические основы оптоэлектроники.

Элементы оптоэлектронных устройств. Источники излучения, полупроводниковые лазеры, светоизлучающие диоды. Фотоприемники. Компоненты оптических схем и световоды. Волоконно-оптические линии связи. Модуляторы, дефлекторы и преобразователи электрических сигналов. Оптические методы обработки информации. Оптические характеристики твердых тел. Механизмы оптического поглощения, влияние внешних воздействий на свойства твердых тел. Отображение информации. Оптоэлектронные датчики и преобразователи. Оптические запоминающие устройства. Основные направления и перспективы развития оптоэлектроники.

4.2 Тематический план лабораторных работ

1. Исследование осциллографической электроннолучевой трубки и кинескопа.
2. Исследование полупроводниковых фотоэлектронных приборов.
3. Исследование волоконно-оптического световода.

4.3 Тематический план практических работ

1. Расчеты плотности тока термоэмиссии и выбор материала катода по заданным требованиям. Выбор материала фотокатода по заданным требованиям. Анализ явления вторичной электронной эмиссии, выбор материала эмиттера, расчеты ФЭУ

2. Анализ работы и расчеты электрических и магнитных линз. Принципы построения электронно-оптических систем. Анализ работы и расчеты электрических и магнитных отклоняющих систем.
3. Физика работы электронно-лучевых приборов. Анализ работы и расчеты приборов в режиме объемного заряда. Анализ работы СВЧ приборов.
4. Анализ процессов столкновений электронов с тяжелыми частицами, закономерности движения заряженных частиц в газа. Несамостоятельные разряды и приборы на их основе, пробой разрядного промежутка. Анализ условий возникновения и горения тлеющего, дугового, искрового разрядов, приборы на их основе.
5. Расчеты параметров неравновесной плазмы и кинетических коэффициентов. Анализ работы лазеров и газоразрядных индикаторных панелей.
6. Полупроводниковые материалы и приборы на их основе. Расчеты характеристик электронно-дырочного перехода в равновесном состоянии. Расчеты ВАХ полупроводникового диода, ширины и емкости перехода.
7. Анализ работы и подходы к расчету транзисторов.
8. Активные и пассивные элементы микросхем, физические основы микроэлектроники. Анализ работы оптоэлектронных приборов и устройств.
9. Анализ и расчеты взаимодействия электромагнитного излучения с атомными системами и твердыми телами. Анализ двух, трех и четырех уровневых схем генерации лазерного излучения.
10. Анализ методов создания инверсной заселенности уровней и расчеты усиления в лазерных системах. Анализ работы и оценки параметров твердотельных, полупроводниковых, газовых и жидкостных лазеров.
11. Анализ и расчеты оптических характеристик твердых тел с учетом внешних воздействий. Анализ работы, выбор источников и приемников излучения для различных областей спектра.

4.4 Самостоятельная работа студентов

1. Изучение лекционного материала по теме: «Энергетические уровни и зоны. Собственная проводимость полупроводников».
2. Изучение лекционного материала по теме: «Твист-эффект».

3. Изучение лекционного материала по теме: «Сегнетодиэлектрики. Пьезоэлектрики. Активные диэлектрики».
4. Изучение лекционного материала по теме: «Полукристаллические и аморфные металлы и сплавы».
5. Изучение лекционного материала по теме: «Свойства магнитных материалов в СВЧ полях».

5 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с компетентностным подходом выпускник вуза должен не просто обладать определенной суммой знаний, а уметь при помощи этих знаний решать конкретные задачи производства.

Учитывая требования ОС НИЯУ МИФИ ВО по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», реализация компетентностного подхода должна предусматривать широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Лекционные занятия проводятся в специализированной аудитории с применением мультимедийного проектора в виде учебной презентации. Учебные материалы предъявляются обучающимся для ознакомления и изучения, основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением и контролем конспекта.

Практические занятия проводятся также с применением мультимедийного проектора с разбором типовых решений.

Лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории на лабораторных установках бригадой студентов из 3-4 человек. Все лабораторные работы выполняются фронтально. За 2-3 дня до проведения лабораторных работ студентам выдается их описание для изучения, перед началом работ проводится тестирование студентов для проверки их готовности к выполнению лабораторных работ.

Текущий контроль знаний студентов по отдельным разделам и в целом по дисциплине проводится в форме компьютерного или бумажного тестирования, а также выполнением самостоятельных работ по решению задач.

6 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Фонд оценочных средств позволяет оценить знания, умения, навыки и уровень приобретенных компетенций. Фонд оценочных средств по дисциплине включает:

6.1 Комплект заданий для текущего контроля успеваемости.

6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации.

7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Основная литература

1. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов / В. И. Старосельский. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 463 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21135-1. — URL : <https://urait.ru/bcode/559426>

2. Червяков, Г. Г. Электронная техника : учебник для вузов / Г. Г. Червяков, С. Г. Прохоров, О. В. Шиндор. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 235 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-18226-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/565454>

7.2 Дополнительная литература

1. Сенсорная электроника, датчики: твердотельные сенсорные структуры на кремнии : учебник для вузов / под редакцией А. М. Ховива. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 203 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12792-8. — URL : <https://urait.ru/bcode/566769>

2. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 2. Микроэлектроника : учебник для вузов / А. А. Щука, А. С. Сигов ; ответственный редактор А. С. Сигов. — 2-е изд.,

испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 326 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01867-7. — URL : <https://urait.ru/bcode/561577>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Кабинет электрических машин и аппаратов для проведения лекций и практических занятий:

Доступ к сети Интернет;

Комплект мультимедийного оборудования:

Проектор Epson;

Экран настенный;

Ноутбук Lenovo IdeaPad 570 15.6"

с возможностью подключения к сети «Интернет» (обеспечен лицензионным и свободно распространяемым программным обеспечением, в том числе отечественного производства);

Комплект учебного оборудования «Основы электрических машин и электропривода» - 3 шт.;

Комплект учебного оборудования «Электрические аппараты» - 3 шт.;

Стол преподавателя;

Стул преподавателя;

Столы ученические – 12 шт.;

Стулья ученические – 24 шт.

Лаборатория электротехники и электроники:

Доступ к сети Интернет;

Комплект мультимедийного оборудования:

Проектор BENQ;

Электронная доска Communicator;

Ноутбук Lenovo IdeaPad 570 15.6"

с возможностью подключения к сети «Интернет» (обеспечен лицензионным и свободно распространяемым программным обеспечением, в том числе отечественного производства);

Типовой комплект учебного оборудования «Электрические цепи и основы электроники»/настольной, ручной/ ЭЦиОЭ – НР - 4 шт.;

Типовой комплект учебного оборудования «Физические основы электроники»/настольный, ручной/ ФОЭ – НП - 4 шт.;

Типовой комплект учебного оборудования «Аналоговая электроника», исполнение настольное, ручное АЭ – НР - 4 шт.;

Типовой комплект учебного оборудования «Электроника», исполнение настольное, ручное Э – НР - 2 шт.;

Типовой комплект учебного оборудования «Электротехнические измерения» - 4 шт.;

Держатель проводов LS 750;

Осциллограф универсальный GOS – 620 / 620 FG - 8 шт.;

Осциллограф цифровой;

Стол преподавателя;

Стул преподавателя;

Столы ученические – 12 шт.;

Стулья ученические – 24 шт.

Помещение для самостоятельной работы.

Библиотека ТТИ НИЯУ МИФИ, читальный зал с выходом в сеть Интернет и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде

Персональный компьютер (обеспечен лицензионным и свободно распространяемым программным обеспечением, в том числе отечественного производства) – 10 шт.;

Проектор;

Экран;

Принтер;

Выставочные шкафы- 4 шт.,

Стол ученические - 12 шт.,

Стулья ученические - 24 шт