

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Физическая электроника
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.03.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Фундаментальная радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина <i>Б1.О.30, физическая электроника</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки <i>03.03.03 Радиофизика</i> .

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики.	<i>З1 (ОПК-1) Знать</i> уравнения движения в электромагнитном поле в общем случае и в случае однородных электрического и магнитного полей. <i>У1 (ОПК-1) Уметь</i> применять базовые знания в области математики для решения стандартных задач физической электроники. <i>В1 (ОПК-1) Владеть</i> навыком классификации электромагнитных линз.	<i>Контрольные вопросы, задачи, задания</i>
	ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач.		
	ОПК-1.3. Решает научно-исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности.		
ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и	ОПК-2.1 Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов.	<i>З1 (ОПК-2) Знать</i> виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и	<i>Контрольные вопросы, задачи, задания</i>

процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;	ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы.	автоионный, проекционные микроскопы). <i>У1 (ОПК-2) Уметь</i> приобретать новые знания в области физической электроники, используя современные образовательные и информационные технологии <i>В1 (ОПК-2) Владеть</i> навыком анализа режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах.	
	ОПК-2.3 Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов.		

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	5 ЗЕТ
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	66
самостоятельная работа	75
КСР	3
Промежуточная аттестация –	

Зачет (7 семестр), экзамен (8 семестр)	36
---------------------------------------------------	-----------

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Введение	8	4			4	4
2. Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях	8	4			4	4
3. Электронно-оптические свойства полей с аксиальной симметрией. Электронные линзы	8	4			4	4
4. Электронно-оптические системы	8	4			4	4
5. Интенсивные электронные пучки	8	4			4	4
6. Общие вопросы эмиссионной электроники	8	4			4	4
7. Термоэлектронная эмиссия	8	4			4	4
8. Полевая эмиссия	8	4			4	4
9. Вторичная электронная эмиссия	8	4			4	4
10. Фотоэлектронная эмиссия	8	4			4	4
11. Технические применения фото- и вторичной эмиссии	8	4			4	4
12. Основные понятия электроники СВЧ	8	4			4	4
13. Клистроны	8	4			4	4
14. Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О)	14	4			4	10
15. ЛБВ М-типа. Магнетрон	10	3			3	7
16. Релятивистская высокочастотная электроника. Лазеры и мазеры на свободных электронах	6	3			3	3
17. Вакуумная микроэлектроника СВЧ	7	2			2	5
В т. ч. текущий контроль	3	3			3	
Промежуточная аттестация – экзамен						

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, лабораторного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать уравнения движения в электромагнитном поле в общем случае и в случае однородных электрического и магнитного полей	Отсутствие знаний материала	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с рядом негрубых ошибок	Знание основного материала с рядом заметных погрешностей	Знание основного материала с незначительными и погрешностями	Знание основного материала без ошибок и погрешностей	Знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь применять базовые знания в области математики для решения стандартных задач	Отсутствие способности решения стандартных задач	Наличие грубых ошибок при решении стандартных задач	Способность решения основных стандартных задач с существенными ошибками	Способность решения всех стандартных задач с незначительными погрешностями	Способность решения всех стандартных задач без ошибок и погрешностей	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных задач	Способность решения стандартных задач и широкого круга нестандартных

физическ ой электрон ики.					остей		задач
<u>Навыки</u> Владеть навыком классифи кации электро магнитных линз.	Полное отсутстви е навыка	Отсутст вие навыка	Владение навыком в минимал ном объёме	Посредст венное владение навыком	Достато чное владени е навыком	Хороше е владени е навыком	Всестор оннее владени е навыко м
Шкала оценок по проценту правильн о выполнен ных контроль ных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	<p>Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий подход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая теоретический материал практическими примерами.</p> <p>100 %--ное выполнение контрольных экзаменационных заданий</p>
Отлично	<p>Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше</p>
Очень хорошо	<p>Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей.</p> <p>Студент активно работал на практических занятиях.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до</p>

	90%.
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета при наличии неточностей. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

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

5.2.1 Контрольные вопросы

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.	ОПК-1
Преставление радиус-вектора и скорости электрона при движении в слабо неоднородных полях. Условия сохранения поперечного адиабатического инварианта. Теорема Буша. Устройство и принцип работы магнетронно-инжекторной пушки гиротрона.	ОПК-1

Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.	ОПК-1
Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.	ОПК-1
Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды aberrаций электронных линз.	ОПК-1
Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия.	ОПК-1
Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.	ОПК-2
Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон “трех вторых” для плоского диода.	ОПК-2
Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа.	ОПК-2
Силы, действующие на электрон при выходе из твердого тела. Профиль потенциального барьера на границе твердого тела.	ОПК-2
Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизмы действия пленочного и оксидного катодов.	ОПК-2
Изменение профиля потенциального барьера на границе твердого тела под действием внешнего электрического поля. Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.	ОПК-2
Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям.	ОПК-2
Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.	ОПК-2
Принцип работы и быстродействие фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Фотоумножители.	ОПК-2
Понятие о наведенном токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.	ОПК-1
Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.	ОПК-1
Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона.	ОПК-1
Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-	ОПК-1

временная диаграмма.	
Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.	ОПК-1
Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.	ОПК-1
Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.	ОПК-1
Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.	ОПК-1
Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.	ОПК-2
Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.	ОПК-2
Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.	ОПК-2
Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.	ОПК-2
Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.	ОПК-2
Конструкция и параметры решетки автоэмиссионных катодов на основе катодов Спиндта. Диод и триод с катодом Спиндта. Особенности устройства и работы ЛБВ О и М типов с катодами Спиндта.	ОПК-2

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Понятие о наведенном токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.
2. Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.
3. Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона.

5.2.4. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-2

1. Найти предельную частоту (длину волны) для плоского диода при которой можно пренебречь инерцией электронов. Рассмотреть 2 случая : а) диод работает в режиме ограничения тока пространственным зарядом; б) влиянием пространственного заряда можно пренебречь. Ускоряющее напряжение $U=300$ В, зазор анод-катод $d=5$ мм.
2. Найти заряд, прошедший во внешней цепи плоского диода при пролете единичного электрона.
3. Найти частоту генерации монотрона с $d=20$ мм, $U=400$ В.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1992. 664 с. – 9 экз.
2. В.М.Березин, В.С.Буряк, Э.М.Гутцайт, В.П.Марин. Электронные приборы СВЧ. М. : Высшая школа, 1985. 296 с. – 42 экз.
3. Гапонов В.И. Электроника, ч.1.М.: 1960. – 24 экз.
4. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. Наука. М.:1966. – 6 экз.

б) дополнительная литература

1. Соболева Н.А., Берковский А.Г. и др. Фотоэлектронные приборы. В.Школа. М.: 1974. – 9 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 912.

Автор (ы) Мануилов В.Н.

Рецензент (ы) Оболенский С.В.

Заведующий кафедрой Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета/института

от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.