

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Физическая электроника

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Фундаментальная радиофизика

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки



## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.30 Физическая электроника относится к обязательной части образовательной программы.

## 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
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 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-1.1: Знать уравнения движения в электромагнитном поле в общем случае и в случае однородных электрического и магнитного полей.  Уметь применять базовые знания в области математики для решения стандартных задач физической электроники.  Владеть навыком классификации электромагнитных линз.  ОПК-1.2: Знать уравнения движения в электромагнитном поле в общем случае и в случае однородных электрического и магнитного полей.  Уметь применять базовые знания в области математики для решения стандартных задач физической электроники.  Владеть навыком классификации электромагнитных линз.  ОПК-1.3: Знать уравнения движения в	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы Задания Задачи  Зачёт: Контрольные вопросы Задания



		<p>электромагнитном поле в общем случае и в случае однородных электрического и магнитного полей.</p> <p>Уметь применять базовые знания в области математики для решения стандартных задач физической электроники.</p> <p>Владеть навыком классификации электромагнитных линз.</p>		
ОПК-2: Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;	<p>ОПК-2.1: Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов</p> <p>ОПК-2.2: Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы</p> <p>ОПК-2.3: Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов</p>	<p>ОПК-2.1:</p> <p>Знать виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы).</p> <p>Уметь приобретать новые знания в области физической электроники, используя современные образовательные и информационные технологии</p> <p>Владеть навыком анализа режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах.</p> <p>ОПК-2.2:</p> <p>Знать виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы).</p> <p>Уметь приобретать новые знания в области физической электроники, используя современные образовательные и информационные технологии</p>	Собеседование	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задания</p> <p>Задачи</p> <p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задания</p>



		<p>Владеть навыком анализа режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах.</p> <p>ОПК-2.3: Знать виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы).</p> <p>Уметь приобретать новые знания в области физической электроники, используя современные образовательные и информационные технологии</p> <p>Владеть навыком анализа режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах.</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>66</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>0</b>
- КСР	<b>3</b>
самостоятельная работа	<b>75</b>
Промежуточная аттестация	<b>36</b>
	<b>Экзамен, Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины



(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Введение	8	4		4	4
Тема 2. Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях	8	4		4	4
Тема 3. Электронно-оптические свойства полей с аксиальной симметрией. Электронные линзы	8	4		4	4
Тема 4. Электронно-оптические системы	8	4		4	4
Тема 5. Интенсивные электронные пучки	8	4		4	4
Тема 6. Общие вопросы эмиссионной электроники	8	4		4	4
Тема 7. Термоэлектронная эмиссия	8	4		4	4
Тема 8. Полевая эмиссия	8	4		4	4
Тема 9. Вторичная электронная эмиссия	8	4		4	4
Тема 10. Фотоэлектронная эмиссия	8	4		4	4
Тема 11. Технические применения фото- и вторичной эмиссии	8	4		4	4
Тема 12. Основные понятия электроники СВЧ	8	4		4	4
Тема 13. Клистроны	8	4		4	4
Тема 14. Лампы бегущей и обратной волны типа О (ЛБВ-О, ЛОВ-О)	12	4		4	8
Тема 15. ЛБВ М-типа. Магнетрон	11	4		4	7
Тема 16. Релятивистская высокочастотная электроника. Лазеры и мазеры на свободных электронах	7	4		4	3
Тема 17. Вакуумная микроэлектроника СВЧ	7	2		2	5
Аттестация	36				
КСР	3			3	
Итого	180	66	0	69	75

### Содержание разделов и тем дисциплины

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

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены ниже

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

##### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

1. Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.
2. Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды аберраций электронных линз.
3. Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия.
4. Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.
5. Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон “трех вторых” для плоского диода.
6. Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа.
7. Силы, действующие на электрон при выходе из твердого тела. Профиль потенциального барьера на границе твердого тела.
8. Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.
9. Принцип работы и быстродействие фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Фотоумножители.
10. Понятие о наведенном токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.



11. Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.

12. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, – вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.

13. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.

14. Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.

15. 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.

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-2:**

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-инжекционной пушки гиротрона.

2. Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.

3. Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.

4. Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизмы действия пленочного и оксидного катодов.

5. Изменение профиля потенциального барьера на границе твердого тела под действием внешнего электрического поля. Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.

6. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям.

7. Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона.

8. Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма.

9. Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.

10. Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.

11. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.

12. Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.



13. Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.

14. Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.



					ошибок		
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»



### **5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) 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.

4. Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма.

5. Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.

6. Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.

7. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.

#### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2**

1. Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.

2. Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.

3. Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.

4. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов,  $\pi$ -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.

5. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.

6. Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.

7. 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.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**



Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.

2. 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.

3. Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.



4. Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.
5. Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды aberrаций электронных линз.
6. Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия.
7. Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.

#### **5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-2**

8. Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон “трех вторых” для плоского диода.
9. Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа.
10. Силы, действующие на электрон при выходе из твердого тела. Профиль потенциального барьера на границе твердого тела.
11. Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизмы действия пленочного и оксидного катодов.
12. Изменение профиля потенциального барьера на границе твердого тела под действием внешнего электрического поля. Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.
13. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям.
14. Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.
15. Принцип работы и быстродействие фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Фотоумножители.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне



Оценка	Критерии оценивания
	не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задание 1.

Понятие о наведенном токе в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо. Метод полного тока. Проводимость диода на СВЧ.

Задание 2.

Статическое и динамическое управление электронным потоком. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.

Задание 3.

Устройство и принцип действия двухрезонаторного пролетного клистрона. Пространственно-временная диаграмма. Принцип работы многорезонаторного клистрона.

Задание 4.

Отражательный клистрон. Устройство, пространственно-временная диаграмма.

Задание 5.

Зоны генерации, стартовый ток и перестройка частоты отражательного клистрона.

Задание 6.

Принцип действия ЛБВ-О. Свойства периодических замедляющих систем ЛБВ-О. Пространственные гармоники. Устройство ЛБВ.

### 5.3.6 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-2

Задание 1.

Дисперсионное уравнение ЛБВ. Параметры дисперсионного уравнения. Свойства корней дисперсионного уравнения. Коэффициент усиления ЛБВ.

Задание 2.



Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.

Задание 3.

Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.

Задание 4.

Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.

Задание 5.

Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.

Задание 6.

Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.

Задание 7.

Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.

Задание 8.

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.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»



Оценка	Критерии оценивания
	Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %

### 5.3.7 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

#### Задание 1.

Интеграл энергии при релятивистских скоростях электронов. Виды электронных траекторий при движении в статических однородных электрическом и магнитном полях.

#### Задание 2.

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.

#### Задание 3.

Вариационные принципы динамики заряженных частиц (принцип Гамильтона, укороченного действия, Мопертюи). Электронно-оптический коэффициент преломления.

#### Задание 4.

Классификация электростатических линз. Построение изображения в тонкой и толстой линзах.

#### Задание 5.



Классификация магнитных линз. Понятие о квадрупольных линзах и электронных зеркалах. Виды aberrаций электронных линз.

Задание 6.

Основные законы внешнего фотоэффекта (законы Столетова и Эйнштейна). Типы фотокатодов и их сравнительные характеристики.

Задание 7.

Принцип работы и быстроедействие фотоэлементов с внешним фотоэффектом. Фотоумножители.

### **5.3.8 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ОПК-2**

Задание 1.

Виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный, автоионный), принцип их действия.

Задание 2.

Принцип работы системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.

Задание 3.

Отличия режимов температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Закон “трех вторых” для плоского диода.

Задание 4.

Пушки Пирса. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа.

Задание 5.

Силы, действующие на электрон при выходе из твердого тела. Профиль потенциального барьера на границе твердого тела.

Задание 6.

Теория термоэлектронной эмиссии из твердого тела. Механизмы действия пленочного и оксидного катодов.

Задание 7.

Изменение профиля потенциального барьера на границе твердого тела под действием внешнего электрического поля. Эффект Шоттки. Автоэлектронная и взрывная эмиссия.

Задание 8.



Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от энергии и угла падения первичных электронов.  
Распределение вторичных электронов по энергиям.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3.9 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задача 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.

Задача 2.

Найти заряд, прошедший во внешней цепи плоского диода при пролете единичного электрона.

Задача 3.

Найти частоту генерации монотрона с  $d=20$  мм,  $U=400$  В.

Задача 4.

Пользуясь методом полного тока найти время пролета электрона в диоде в режиме ограничения тока пространственным зарядом.



Задача 5.

Доказать, что в монотроне активная и реактивная проводимости электронного пучка  $Y_a(0)=Y_r(0)=0$ .

Задача 6.

При какой частоте  $f$  в клистроне после прохождения первого резонатора отсутствует модуляция электронного пучка по скорости? Ускоряющее напряжение  $U_0=300$  В, зазор между сетками модулятора  $d=5$  мм.

Задача 7.

Найти частоту  $f$ , при которой коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора в клистроне  $M=0.9$ , если  $d=5$  мм,  $U_0=400$  В.

Задача 8.

На каком расстоянии  $x$  от 1-го резонатора в 2-резонаторном клистроне образуется наиболее плотный электронный сгусток, если  $\lambda=4$  см,  $U_0=4$  кВ,  $d=2$  мм,  $U_{1M}=150$  В.

Задача 9.

На каком расстоянии  $x$  от 1-го резонатора в 2-резонаторном клистроне надо поставить второй резонатор, чтобы получить максимальный КПД на второй гармонике рабочей частоты, если  $\lambda=8$  см,  $U_0=4$  кВ,  $d=6$  мм,  $U_{1M}=100$  В.

### **5.3.10 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-2**

Задача 1.

Найти связь между номером зоны генерации  $n$  и потенциалом  $U_{отр}$  отражателя в отражательном клистроне.

Задача 2.

Найти величину параметра группировки и номер зоны генерации для отражательного клистрона при следующих параметрах:  $U_0=300$  В,  $U_{отр}=50$  В,  $f=500$  МГц,  $D=5$  мм,  $U_{1M}=40$  В,  $d=2$  мм.

Задача 3.

Оценить, на каком расстоянии  $x$  от замедляющей системы надо пропускать электронный пучок, если  $\lambda=3$  см,  $U_0=1$  кВ.

Задача 4.

Найти коэффициент усиления  $G$  в ЛБВ-О, если длина лампы  $L=10$  см,  $\lambda=3$  см,  $U_0=4$  кВ,  $R_c=10$  ом,  $I_0=10$  мА, считая, что влиянием поля пространственного заряда можно пренебречь, а скорость электронного пучка равна холодной фазовой скорости волны.

Задача 5.



На сколько скорость электронного пучка должна превышать холодную фазовую скорость волны, чтобы в ЛБВ-О отсутствовала экспоненциально нарастающая волна ?  $U_0=1$  кВ,  $R_c=40$  ом,  $I_0=100$  мА. Поле пространственного заряда пренебречь.

Задача 6.

В ЛБВ-О отношение ускоряющих напряжений при работе на 1-ой и 3-ей пространственных гармониках  $U_{01}/U_{03}=1.4$ . Определить постоянную распространения нулевой гармоники  $\alpha_0$ , если период системы  $D=4$ мм.

Задача 7.

Найти величину фазовой скорости в ЛБВ-М на границах полосы усиления, если  $\lambda =3$  см,  $I_0=3$  мА,  $R_c=50$  Ом, магнитное поле  $B=100$  Гс, потенциалы отрицательного электрода и замедляющей системы относительно катода соответственно  $U_1=-100$  В,  $U_2=900$  В, а расстояние между ними  $d=1$  см.

Задача 8.

Найти фазовую скорость для  $\pi$ -вида колебаний в 24-резонаторном магнетроне, если  $\lambda =10$  см,  $R_a=5$  см. Чему примерно равно замедление и анодное напряжение?

Задача 9.

Оценить оптимальные параметры гиротрона, если  $U_0=70$  кВ,  $\lambda =2.14$  мм,  $g=1$ , длина резонатора  $L=10$  .

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.



Оценка	Критерии оценивания
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] : в 10 т. Т. 8. Электродинамика сплошных сред / [отв. ред. Л. П. Питаевский]. - 3-е изд., испр. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. - 664 с. : ил. - 1400.00., 9 экз.
2. Электронные приборы СВЧ : [учеб. пособие для вузов по специальности "Электрон. приборы"]. - М. : Высшая школа, 1985. - 296 с. : ил. - 1.10., 42 экз.
3. Гапонов Виктор Иванович. Электроника : учеб. пособие для вузов. Ч. 1. Физические основы / [ред. В. Б. Брагинский]. - М. : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1960. - 516 с. - 1.06., 24 экз.
4. Добрецов Леонтий Николаевич. Эмиссионная электроника. - М. : Наука, 1966. - 564 с. - б/ц., 6 экз.

Дополнительная литература:

1. Соболева Нина Александровна. Фотоэлектронные приборы : [учеб. пособие для вузов по специальности "Электронные приборы"]. - М. : Высшая школа, 1974. - 376 с. : ил. - 1.02., 9 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

-

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), 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 по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Мануилов Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Рецензент(ы): Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 года, протокол № 09/23.