

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 президиума Ученого совета ННГУ
протокол от
«14» декабря 2021 г. № 4

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Физическая электроника
(наименование дисциплины (модуля))

Бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

03.03.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Фундаментальная радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2022

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Физическая электроника» относится к дисциплинам обязательной части основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» на радиофизическом факультете ННГУ. Дисциплина обязательна для освоения в 7-м и 8-м семестрах.

Целями освоения дисциплины являются:

- сформировать у студентов современное представление об основных методах формирования активной среды в виде электронного пучка для мощных источников когерентного электромагнитного излучения, включая теорию эмиссии электронов из твердого тела.
- рассмотрение современных методов электронной оптики слаботочных систем, включая различные виды электронных микроскопов.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ОПК-1</i> способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности	<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>ОПК-2</i> способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	<i>З1 (ОПК-2) Знать</i> виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и 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.

3. Структура и содержание дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся.

Объем дисциплины (модуля) составляет 5 зачетных единиц, всего 180 часов, из которых 68 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (65 часов занятия лекционного типа, 0 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов групповые консультации, 0 часов индивидуальные консультации, 3 часа мероприятия

текущего контроля успеваемости, 36 мероприятия промежуточной аттестации), 76 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

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. Клитроны	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	3			3	4
В т. ч. текущий контроль	3	3			3	
Промежуточная аттестация – экзамен						

4. Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит

в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных занятий.

Образовательные технологии, способствующие формированию компетенций используемые на занятиях лекционного типа:

- лекции с проблемным изложением учебного материала.
- регламентированная самостоятельная деятельность студентов;
- решение проблемных ситуаций для реализации технологии коллективной мыслительной деятельности.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

5.1 Вопросы, которые должны быть проработаны в ходе самостоятельной работы

1. Движение в слабонеоднородных полях (дрейфовая теория). Поперечный адиабатический инвариант. Дрейфовые уравнения. Уравнения Лагранжа. Теорема Буша.
2. Вариационные принципы динамики заряженных частиц. Электронно-оптический коэффициент преломления.
3. Классификация магнитных линз. Электронно-оптические свойства короткой (слабой) и длинной магнитных линз. Сильные магнитные линзы. Аберрации электронных линз. Электронные зеркала. Квадрупольные линзы. Отклоняющие системы.
4. Прожекторы электронно-лучевых трубок. Электронно-лучевые технологические установки. Электронные микроскопы (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы). Разрешающая сила электронных микроскопов просвечивающего типа.
5. Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа. Формирование ленточных электронных пучков. Пушки Пирса.
6. Особенности работы электронных ламп на СВЧ. Инерция электронов. Наведенные токи в цепях электродов. Теорема о полном токе. Теорема Шокли - Рамо.
7. Скоростная модуляция электронного потока. Уравнение скоростной модуляции.
8. Принцип работы многорезонаторного клистрона.
9. Электронная проводимость клистрона. Стартовый ток и перестройка частоты клистрона.
10. Свойства периодических замедляющих систем. Пространственные гармоники. Фазовая скорость пространственной гармоники.
11. Нелинейная теория ЛБВ. Модель электронного потока в электронных приборах СВЧ. Метод крупных частиц. Дебаевский радиус электронного пучка.
12. Лампа обратной волны. Принцип действия. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.
13. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов. Виды колебаний колебательной системы магнетрона, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.
14. Классические электроны-осцилляторы и электронные мазеры. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров. Устройство и работа гиротрона.
15. Релятивистские электронные мазеры - МЦАР и убитрон.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы – основная и дополнительная литература.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ОПК-1 способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности

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 физической электроники.	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 задач
<u>Навыки</u> Владеть навыком классификации электромагнитных	Полное отсутствие навыка	Отсутствие навыка	Владение навыком в минимальном объеме	Посредственное владение навыком	Достаточное владение навыком	Хорошее владение навыком	Всестороннее владение навыком

линз.							
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ОПК-2 способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать виды электронных микроскопов (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы).	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 приобретать новые знания в области физической электрон	Отсутствует способность 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	Способность решения стандартных и некоторых нестандартных	Способность решения стандартных задач и широкого круга

ики, использу я современ ные образоват ельные и информа ционные технолог ии.				стями	и погрешн остей	задач	нестанд артных задач
<u>Навыки</u> Владеть навыком анализа режимов температ урного ограниче ния эмиссии и ограниче ния тока простран ственным зарядом в электрон ных диодах.	Полное отсутстви е навыка	Отсутст вие навыка	Владение навыком в минималь 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%

6.2. Описание шкал оценивания.

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета с оценкой в 7-м семестре и экзамена в 8-м семестре, на которых определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен и зачет с оценкой проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение задачи.

Критерии оценок.

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 90%.</p>
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</p>

	<p>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>

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- устные и письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания, включающие одну или несколько задач

Для проведения итогового контроля сформированности компетенции используются: устный опрос, решение практических задач.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Вопросы на зачет для оценки сформированности компетенций ОПК-1, ОПК-2

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.
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.

Экзаменационные вопросы для оценки сформированности компетенций ОПК-1, ОПК-2

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.
8. Нелинейные эффекты при группировке в ЛБВ. Зависимость коэффициента полезного действия ЛБВ от параметров дисперсионного уравнения. Способы увеличения КПД ЛБВ-О.
9. Принцип действия лампы обратной волны. Дисперсионная характеристика замедляющей системы. Распределение поля и тока, электронная перестройка частоты.
10. Принцип действия, устройство и группировка электронов в ЛБВ-М.
11. Статический режим работы магнетрона. Электронное облако в негенерирующем магнетроне. Колебательные системы магнетронов, π -вид колебаний. Группировка электронов и КПД магнетрона.
12. Принцип работы МЦР. Оценки оптимальных параметров.
13. Причины увеличения ускоряющего напряжения в электронных приборах СВЧ. ЭОС релятивистских приборов. Релятивистская ЛБВ, МЦАР и убитрон.
14. 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.

Типовые задачи для оценивания сформированности умений и навыков по компетенциям ОПК-1, 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.
4. Пользуясь методом полного тока найти время пролета электрона в диоде в режиме ограничения тока пространственным зарядом.
5. Доказать, что в монотроне активная и реактивная проводимости электронного пучка $Y_a(0)=Y_r(0)=0$.
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.
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.
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.
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.
10. Найти связь между номером зоны генерации n и потенциалом $U_{отр}$ отражателя в отражательном клистроне.
11. 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.
12. Оценить, на каком расстоянии x от замедляющей системы надо пропускать электронный пучок, если $\lambda=3$ см, $U_0=1$ кВ.
13. 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.
14. 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. Полем пространственного заряда пренебречь.
15. 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 α , если период системы $D=4$ мм.
16. 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.
17. Найти фазовую скорость для π -вида колебаний в 24-резонаторном магнетроне, если $L=10$ см, $R_a=5$ см. Чему примерно равно замедление и анодное напряжение?
18. Оценить оптимальные параметры гиротрона, если $U_0=70$ кВ, $\lambda=2.14$ мм, $g=1$, длина резонатора $L=10$.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1992. 664 с.
2. Жеребцов И.И. Электроника. Энергоатомиздат. М.: 1990.
3. Электронные приборы. / Под ред. Г.Г. Шишкина. 4-е изд. М : Энергоатомиздат, 1989. 496 с.
4. В.М.Березин, В.С.Буряк, Э.М.Гутцайт, В.П.Марин. Электронные приборы СВЧ. М. : Высшая школа, 1985. 296 с.
5. Гапонов В.И. Электроника, ч.1, 2. М.: 1960.
6. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. Наука. М.:1966.
7. Жигарев А.А. Электронно-лучевые и фотоэлектронные приборы. ВШ. М.: 1982.

б) дополнительная литература

1. Электронные приборы сверхвысоких частот. Уч. пособие под ред. В.М.Шевчика и М.А.Григорьева. Изд. СГУ. Саратов: 1980.
2. Царев Б.М. Расчет и конструирование электронных ламп. Энергия. 1967.
3. Мюллер Р.Б. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. Мир., М.: 1984.
4. Соболева Н.А., Берковский А.Г. и др. Фотоэлектронные приборы. Наука. М.: 1963.
5. Бродский Л.Н., Гуревич Ю.Я. Теория электронной эмиссии из металлов. Наука., М.: 1963.
6. Власов В.Ф. Электронные и ионные приборы. Связьиздат., М., 1960.
7. Электроника : Энцикл. словарь/ Гл. ред. В.Г.Колесников. М. : Сов. энцикл., 1991. 688с.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Лекционный зал с проектором.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО/ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению (профилю), специальности (специализации) Радиофизика.

Автор (ы) Мануилов В.Н.

Рецензент (ы) Оболенский С.В.

Заведующий кафедрой Бельков С.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета

от «9» декабря 2021 года, протокол № 07/21