

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

**Саровский физико-технический институт -**

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

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан физико-технического фа-  
культета СарФТИ НИЯУ МИФИ

А.К.Чернышев

«...» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**Электронные СВЧ приборы**

Направление подготовки (специальность) **03.04.01 Прикладная математика и физика**

Профиль подготовки **Физика фундаментальных взаимодействий**

Квалификация (степень) выпускника **магистр**

(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения **очная**

(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

Автор \_\_\_\_\_ М.Л. Сметанин

Рецензент \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н. А.В. Тельнов

**Согласовано:**

Зав. кафедрой ЯРФ \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ОПП \_\_\_\_\_ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ (актуализирован  
Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 27.07.2021 г)

Программа одобрена  
на заседании кафедры Ядерной и радиационной физики  
от 31.08.21 (протокол №2).

г. Саров, 2021 г.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цель изучения дисциплины:

- в области обучения – изучение классификации электронных приборов СВЧ, принципов преобразования энергии электронов в энергию СВЧ волны, основ работы электронных СВЧ приборов и генераторных систем, основных закономерностей процессов в различных типах вакуумных СВЧ приборах, а также конструкций различных СВЧ приборов и устройств. Формирование у будущих специалистов специальных знаний, умений, навыков расчета и проектирования, а также компетенций в области разработки и эксплуатации современных компонентов и устройств СВЧ техники, в частности, формирование современных знаний в области источников ВЧ и СВЧ питания, а так же ускоряющих систем резонансных ускорителей заряженных частиц;
- в области воспитания – научить эффективно работать индивидуально и в команде, проявлять умения и навыки, необходимые для профессионального, личностного развития;
- в области развития – подготовка студентов к дальнейшему освоению новых профессиональных знаний и умений, самообучению, непрерывному профессиональному совершенствованию.

### 1.2. Задачи дисциплины:

- представление основополагающей информации по электронным СВЧ приборам, ВЧ и СВЧ генераторным устройствам, в частности современным и проектируемым системам питания резонансных ускорителей заряженных частиц.
- описание физических основ работы ускоряющих систем резонансных ускорителей заряженных частиц, методов измерения их ВЧ и СВЧ электродинамических характеристик.
- освещение вопросов обеспечения безопасности при работах с элементами СВЧ техники.
- демонстрация резонансных электронных ускорителей РФЯЦ-ВНИИЭФ.
- стимулирование развития способности к самостоятельному поиску и обработке научной информации.

## 2 МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс «Электронные СВЧ приборы» изучается студентами на 1 и 2 курсах магистратуры (2 и 3 семестры обучения) и дает представление об основных принципах генерации и усиления СВЧ сигналов с использованием генераторных и усилительных электронных приборов СВЧ, о мерах по обеспечению безопасного проведения измерений на СВЧ, безопасной эксплуатации генераторов СВЧ, а также знакомит студентов с системами СВЧ и ВЧ питания резонансных ускорителей электронов, работающих в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Курс базируется на следующих дисциплинах: математический анализ, физика, электродинамика, теория функции комплексного переменного, теоретические основы электротехники, физика и техника СВЧ.

### **3 КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ. ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИЮ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

В совокупности с другими дисциплинами курс «Электронные СВЧ приборы» направлен на формирование следующих компетенций магистра:

- ПК-3- способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра;

- ПК-13.1- способен к обеспечению безопасности при проведении работ на ядерно-физических и электрофизических установках, с делящимися материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами;

- ПК-13.2- способен к проведению испытаний согласно техническим требованиям, анализу характеристик испытываемого изделия, а также к подготовке аналитической документации испытаний

Студент должен будет:

#### **Знать:**

З-ПК-3 Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области

З-ПК-13.1 федеральные нормы и правила, отраслевые нормативные документы по ядерной и радиационной безопасности, электробезопасности и охране труда при эксплуатации исследовательских ядерных и электрофизических установок – источников излучения, высоковольтного и измерительного оборудования; технические характеристики установок и оборудования; технологические регламенты безопасной эксплуатации установок и оборудования

З-ПК-13.2 Метрологию, стандартизацию и сертификацию в атомной отрасли, методы и средства автоматизации выполнения испытаний; порядок разработки и оформления технологической, методической документации для подготовки и проведения испытаний, отчетной документации по результатам выполненных исследований

#### **В том числе:**

- основные термины, определения и единицы системы измерений в технике СВЧ;
- общие принципы преобразования энергии в приборах СВЧ, классификацию электронных СВЧ приборов;
- основные принципы работы, параметры триодов и тетродов СВЧ;
- основные принципы работы, параметры клистронов;
- основные принципы работы, параметры магнетронов;
- основные принципы работы, параметры волновых ламп.

#### **Уметь:**

У-ПК-3 Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты

У-ПК-13.1 анализировать научно-техническую информацию по теме исследований, в том числе для организации контроля за техническим состоянием установок и оборудования; средств измерений, контроля, управления и автоматики, обеспечивающих безопасную эксплуатацию установок и стендов

У-ПК-13.2 Оценивать научно-технический уровень достигнутых результатов

**В том числе:**

- обоснованно выбирать параметры элементов СВЧ приборов;
- производить оценки области применимости различных СВЧ приборов и определять их характеристики;
- пользоваться справочной и технической документацией;

**Владеть:**

В-ПК-3 Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области

В-ПК-13.1 навыками разработки планов перспективных исследований по инновационным ядерным технологиям и мероприятий по обеспечению ядерной безопасности планируемых работ

В-ПК-13.2 навыками анализа и обобщения результатов выполненных научно-технических исследований и разработок, включая разработку методик выполнения измерений, испытаний и контроля работоспособности основных подсистем и узлов испытательного оборудования и применяемых средств измерений; а также анализ результатов, полученных в результате испытаний изделий (объектов испытания)

**В том числе:**

- практическими навыками решения задач по физике и технике СВЧ;
- приемами расчёта передающих линий, устройств СВЧ, объемных резонаторов;
- навыками ведения дискуссий при защите научно-технических работ.

**В результате изучения дисциплины студент должен получить комплексную систему знаний о физике и технике СВЧ электронных приборов:**

- **Знание и понимание физики и техники СВЧ электронных приборов** (теория возбуждения СВЧ электромагнитных колебаний, способы передачи СВЧ мощности, направляющие и резонаторные структуры СВЧ, основные способы согласования, деления мощности, ослабления СВЧ сигналов)
- **Основные представления о генераторных и усилительных приборах СВЧ** (классификация СВЧ приборов, принципы функционирования магнетронов, клистронов, ЛБВ, усилительных и генераторных триодов и тетродов, работающих в диапазонах ВЧ и СВЧ)

- **Практические навыки измерений проводимых на СВЧ** (методы измерения проходящей мощности, коэффициентов отражения и КСВН, входных сопротивлений линий передачи).
- **Техника безопасности** (действие СВЧ излучения на человека, основные определения техники безопасности при работе с СВЧ устройствами)

#### 4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часа, из них 64 часа аудиторная нагрузка, 18 часов занятия в интерактивной форме, 8 часов СРС.

2 семестр - 16 часов – лекции, 16 часов – практики (включая 10 часов в интерактивной форме), 4 часа - СРС

3 семестр - 16 часов – лекции, 16 часов – практики (включая 8 часов в интерактивной форме), 4 часа - СРС

Таблица 1 – Календарно-тематический план занятий и контроля. 2 семестр

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности			Текущий контроль успеваемости	Аттестация раздела	Максимальный балл за раздел
		Лекции, час	Практика, час	Самост. раб./Нед./час			
<b>1. Общие принципы преобразования энергии в электронных приборах СВЧ. Генераторы и усилители СВЧ. Триоды и Тетроды СВЧ.</b>							
Вводная лекция.	1	1				зачет	
Реактивные параметры триода в колебательных системах. Углы пролета и токи в цепи триода.		1		Подготовка к дискуссии /1нед/		зачет	
<b>Дискуссия по теме:</b> Реактивные параметры триода в колебательных системах.	2		2		УО, Д	зачет	Д - 5
Элементы электроники триода. Электронные явления в пространстве катод-сетка, в пространстве сетка-анод. Ток сетки.	3	2		Подготовка к дискуссии /3нед/		зачет	
<b>Дискуссия по теме:</b> Электронные явления в пространстве катод-сетка, в пространстве сетка-анод. Ток сетки.	4		2		УО, Д	зачет	Д -5
Входная проводимость триода на СВЧ. Конструкция триодов СВЧ. Конструкция генерато-	5	2		Подготовка к дискуссии /5нед/		зачет	

ров и усилителей на триодах СВЧ.							
<b>Дискуссия по теме:</b> Конструкция триодов СВЧ. Конструкция генераторов и усилителей на триодах СВЧ.	6		2		УО, Д	зачет	Д - 5
Тетроды СВЧ диапазона	7	2		Подготовка к дискуссии /7нед/		зачет	
<b>Дискуссия по теме:</b> Тетроды СВЧ диапазона	8		2		УО, Д	зачет	Д - 5
<b>2. Клистроны.</b>							
Принцип действия пролетных двухрезонаторных клистронов. Резонаторы - группирователь и улавливатель. Двухрезонаторные клистроны. Коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора.	9	2		Подготовка к дискуссии /9нед/3час, Работа по написанию реферата /9-16нед/		зачет	
<b>Дискуссия по теме:</b> Двухрезонаторные клистроны. Коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора. Параметр группировки. Угол пролета пространства дрейфа. Радиальная и продольная разгруппировка пучка.	10		2		УО, Д	зачет	Д - 5
Многорезонаторные клистроны. Электронная проводимость пучка. Амплитудная характеристика клистрона. Частотная характеристика клистрона.	11	2		Подготовка к КР/11нед/		зачет	
<b>КР-1 по разделам 1- 2</b>	12		2		КР		5
Отражательные клистроны. Условие генерации отражательного клистрона. Номер области генерации. Эквивалентная схема отражательного клистрона. Электронная настройка отражательного клистрона	13	2		Подготовка к практическому занятию /13нед/		зачет	
<b>Практическое занятие:</b> обсуждение вопросов и	14		2		УО	зачет	5

решение задач по разделам 1-2							
Коэффициент усиления КПД клистронов. Конструкция клистронов.	15	2				зачет	
Защита рефератов по предложенным темам	16		2			зачет	<b>10</b>
Зачет	17						
Итого	17	16	16	4			
<b>Бально-рейтинговая система (максимальное количество баллов за семестр)</b>							
Посещаемость							5
Кол-во баллов за работу в семестре: 1 КР – 5 баллов; 5 Д – 25 баллов; Р – 10 баллов УО – 5 баллов							45
Зачет							50
Итого за семестр							100

#### 4.1 Разделы учебной дисциплины. 2 семестр обучения

##### 1. Общие принципы преобразования энергии в электронных приборах СВЧ. Генераторы и усилители СВЧ. Триоды и Тетроды СВЧ.

Диапазон ВЧ и СВЧ. Генераторы и усилители СВЧ. Классификационная схема генераторных и усилительных приборов СВЧ. Принцип электростатического управления плотностью электронного потока в триодах и тетродах СВЧ. Отличия триодов и тетродов СВЧ от низкочастотных ламповых усилителей. Влияние реактивных параметров триода на работу колебательной системы. Углы пролета и токи в цепи, содержащей электровакуумный прибор. Элементы электроники триода. Электронные явления в пространстве катод-сетка. Электронные явления в пространстве сетка-анод. Ток сетки. Входная проводимость триода на СВЧ. Конструкция триодов СВЧ. Конструкция генераторов и усилителей на триодах СВЧ. Тетроды СВЧ диапазона.

##### 2. Клистроны.

Принцип действия пролетных двухрезонаторных клистронов. Резонаторы - группирователь и улавливатель. Пространство дрейфа. Двухрезонаторные клистроны. Коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора. Параметр группировки. Угол пролета пространства дрейфа. Радиальная и продольная разгруппировка пучка. Многорезонаторные клистроны. Электронная проводимость пучка. Амплитудная характеристика клистрона. Частотная характеристика клистрона. Отражательные клистроны. Условие генерации отражательного клистрона. Номер области генерации. Эквивалентная схема отражательного клистрона. Электронная настройка отражательного клистрона. Коэффициент усиления и КПД клистронов. Конструкция клистронов.

**Таблица 2 – Календарно-тематический план занятий и контроля. 3 семестр обучения**

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности	Текущий контроль успеваемости	Аттестация раздела	Максимальный Балл за раздел
---------------------------	--------	---------------------------	-------------------------------	--------------------	-----------------------------

		Лекции, час	Практика, час	Самост. раб./Нед./час			
<b>1. Многорезонаторные магнетроны.</b>							
Принцип действия магнетрона. Пространство взаимодействия и эффективность взаимодействия электронов с СВЧ-полем резонаторов. Резонансная система магнетрона. Взаимодействие электронного потока с СВЧ-полем.	1	2				зачет	
<b>Дискуссия по теме:</b> Принцип действия магнетрона. Пространство взаимодействия и эффективность взаимодействия электронов с СВЧ-полем резонаторов.	2		2		УО, Д	зачет	Д - 5
Критический режим и отсечка тока. Фазовая фокусировка. Диаграмма Хартри. Рабочие и нагрузочные характеристики магнетронов. Вольт-амперная характеристика. Статическое и динамическое внутреннее сопротивление магнетрона.	3	2				зачет	
<b>Дискуссия по теме:</b> Рабочие и нагрузочные характеристики магнетронов. Вольт-амперная характеристика. Статическое и динамическое внутреннее сопротивление магнетрона.	4		2		УО, Д	зачет	Д - 5
Электронное смещение частоты. Коэффициент электронного смещения частоты. Затягивание частоты.	5	2				зачет	
<b>Дискуссия по теме:</b> Электронное смещение частоты.	6		2		УО, Д	зачет	Д - 5
Конструкция магнетронов. Катод. Анодный блок магнетрона. Вывод энергии из магнетрона. Механизм настройки частоты.	7	2				зачет	
<b>КР-1 по разделу 1</b>	8		2		КР		5
<b>2. Волновые лампы.</b>							
Принцип работы лампы бегущей волны О-типа. Лампы бегущей волны (ЛБВ) и обратной волны (ЛОВ). Лампа О-типа. Лампа М-типа. Элементарная теория ЛБВ	9	2		Работа по написанию реферата /9-16нед/		зачет	



<b>Дискуссия по теме:</b> Принцип работы лампы бегущей волны О-типа. Элементарная теория ЛБВ	10		2		УО, Д	зачет	Д - 5
Коэффициент усиления лампы. Методы рекуперации энергии. Характеристики взаимодействия. Амплитудная характеристика. Амплитудно-частотная характеристика. Шумы ЛБВ.	11	2				зачет	
<b>Практическое занятие:</b> обсуждение вопросов и решение задач по разделу 2	12		2		УО	зачет	5
Лампа обратной волны О-типа. Зона генерации. Автогенераторный режим работы лампы. Конструкции ЛБВ и ЛОВ О-типа.	13	2				зачет	
<b>Практическое занятие:</b> обсуждение вопросов и решение задач по разделу 2	14		2		УО	зачет	5
Платинотроны. Амплитроны и стабилитроны. Митрон.	15	2				зачет	
Защита рефератов по предложенным темам	16		2		Р	зачет	<b>10</b>
Зачет	17						
Итого	17	16	16	4			
<b><i>Бально-рейтинговая система (максимальное количество баллов за семестр)</i></b>							
Посещаемость							5
Кол-во баллов за работу в семестре: 1 КР – 5 баллов; 4 Д – 20 баллов; Р – 10 баллов УО – 10 баллов							45
Зачет							50
Итого за семестр							100

#### **4.2 Разделы учебной дисциплины. 3 семестр обучения**

##### **1. Многорезонаторные магнетроны.**

Принцип действия магнетрона. Пространство взаимодействия и эффективность взаимодействия электронов с СВЧ-полем резонаторов. Резонансная система магнетрона. Взаимодействие электронного потока с СВЧ-полем. Критический режим и отсечка тока. Фазовая фокусировка. Диаграмма Хартри. Рабочие и нагрузочные характеристики магнетронов. Вольтамперная характеристика. Статическое и динамическое внутреннее сопротивление магнетрона. Электронное смещение частоты. Коэффициент электронного смещения частоты. Затыгивание частоты. Конструкция магнетронов. Катод. Анодный блок магнетрона. Вывод энергии из магнетрона. Механизм настройки частоты. Магнитная система. Конструкция коаксиального магнетрона.

##### **2. Волновые лампы.**

Принцип работы лампы бегущей волны О-типа. Лампы бегущей волны (ЛБВ) и обратной волны (ЛОВ). Лампа О-типа. Лампа М-типа. Элементарная теория ЛБВ. Коэффициент усиления лампы. Методы рекуперации энергии. Характеристики взаимодействия. Амплитудная характеристика. Амплитудно-частотная характеристика. Шумы ЛБВ. Лампа обратной волны О-типа. Зона генерации. Автогенераторный режим работы лампы. Конструкции ЛБВ и ЛОВ О-типа. Платинотроны. Амплитроны и стабилитроны. Митрон.

#### 4.3 Планы практических занятий

Цель практических занятий – закрепить основные (базовые) понятия и определения изучаемой темы посредством подготовки к дискуссиям, практическим занятиям; приобрести начальные навыки решения типовых задач по изучаемой теме посредством выполнения практических работ.

### 2 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

#### 1. Реактивные параметры триода в колебательных системах.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Реактивные параметры триода. Влияние реактивных сопротивлений ламп на работу колебательной системы.

#### 2. Электронные явления в пространстве катод-сетка, в пространстве сетка-анод. Ток сетки.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Емкостной ток. Ток, наведенный движущимся зарядом. Пространственно-временная диаграмма. Анализ движения электронов.

#### 3. Конструкция триодов СВЧ. Конструкция генераторов и усилителей на триодах СВЧ.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Конструкция триодов СВЧ. Анод. Катод. Сетка. Свойства триодных генераторов.

#### 4. Тетроды СВЧ диапазона

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Внешние и встроенные резонаторы тетродных генераторов.

#### 5. Двухрезонаторные клистроны. Коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора. Параметр группировки.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Группирователь. Улавливатель. Модуляция пучка по скорости.

#### 5. Отражательные клистроны. Условие генерации отражательного клистрона. Номер области генерации. Эквивалентная схема отражательного клистрона.

Практическое занятие проводится в форме собеседования, решения и разбора типовых задач. Максимальная оценка 5 баллов.

Вопросы: Условия работы отражательного клистрона. Номер области генерации. Мощность генерации СВЧ колебаний отражательного клистрона.

Типовые задачи приведены в ФОС.

### 3 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

#### 1. Принцип действия магнетрона. Пространство взаимодействия и эффективность взаимодействия электронов с СВЧ-полем резонаторов.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Пространство взаимодействия. Резонансная система магнетрона.

2. Рабочие и нагрузочные характеристики магнетронов. Вольт-амперная характеристика. Статическое и динамическое внутреннее сопротивление магнетрона.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Рабочие и нагрузочные характеристики магнетронов. ВАХ магнетрона.

3. Электронное смещение частоты.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Коэффициент электронного смещения частоты. Степень затягивания частоты.

4. Принцип работы лампы бегущей волны О-типа. Элементарная теория ЛБВ.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов  
Вопросы: Замедляющая структура ЛБВ. Взаимодействие электронов с основной гармоникой поля ЗС. Элементарная теория ЛБВ.

5. Коэффициент усиления лампы. Методы рекуперации энергии. Характеристики взаимодействия.

Практическое занятие проводится в форме собеседования, решения и разбора типовых задач. Максимальная оценка 5 баллов.

Вопросы: Коэффициент усиления лампы. Методы рекуперации энергии.

Типовые задачи приведены в ФОС.

6. Лампа обратной волны О-типа. Зона генерации. Автогенераторный режим работы лампы. Конструкции ЛБВ и ЛОВ О-типа.

Практическое занятие проводится в форме собеседования, решения и разбора типовых задач. Максимальная оценка 5 баллов.

Вопросы: Зона генерации. Автогенераторный режим работы лампы

Типовые задачи приведены в ФОС.

#### 4.4 ИНТЕРАКТИВНЫЕ ФОРМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 2 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Таблица 3 – Описание в интерактивной форме.

№ недели	Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля	Максимальный балл
2	Дискуссия по теме: Реактивные параметры триода в колебательных системах.	Дискуссия /2нед/2час	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
4	Дискуссия по теме: Электронные явления в пространстве катод-сетка, в пространстве сетка-анод.	Дискуссия/4нед/2 часа	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
6	Дискуссия по теме: Конструкция генераторов и усилите-	Дискуссия/6нед/2 часа	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности	5

	лей на триодах СВЧ.			ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	
8	Дискуссия по теме: Тетроды СВЧ диапазона	Дискуссия /8нед/1 час	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
10	Дискуссия по теме: Двухрезонаторные клистроны. Коэффициент взаимодействия электронов с полем резонатора.	Дискуссия /10нед/2 час	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
ИТОГО часов			10		

### 3 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Таблица 4 – Описание в интерактивной форме.

№ недели	Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля	Максимальный балл
2	Дискуссия по теме: Принцип действия магнетрона. Пространство взаимодействия и эффективность взаимодействия электронов с СВЧ-полем резонаторов.	Дискуссия /2нед/4 час	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
4	Дискуссия по теме: Рабочие и нагрузочные характеристики магнетронов. Вольт-амперная характеристика. Статическое и динамическое внутреннее сопротивление магнетрона.	Дискуссия/4нед/2 часа	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
6	Дискуссия по теме: Электронное смещение частоты.	Дискуссия/6нед/2 часа	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
10	Дискуссия по теме:	Дискуссия/10нед/2	2	Педагогическое	5

	Принцип работы лампы бегущей волны О-типа. Элементарная теория ЛБВ	часа		наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	
	ИТОГО часов		8		

## 5 Самостоятельная работа студентов

### 2 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Таблица 5 – Календарно-тематический план самостоятельной работы студентов

Номер недели	Номер темы	Задание для СРС	Форма занятий для контроля	Кол-во часов СРС
1	1	Подготовка к дискуссии	Д	
3	1	Подготовка к дискуссии	Д	
5	2	Подготовка к дискуссии	Д	
7	2	Подготовка к дискуссии	Д	
9	3	Подготовка к дискуссии	Д	
11	3	Подготовка к КР	Д	
13	4	Подготовка к практическому занятию	Д	
9-16	1-4	Работа по написанию реферата	защита реферата	
ИТОГО:				4

### 3 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Таблица 6 – Календарно-тематический план самостоятельной работы студентов

Номер недели	Номер темы	Задание для СРС	Форма занятий для контроля	Кол-во часов СРС
9-16	1-4	Работа по написанию реферата	защита реферата	
ИТОГО:				4

## 6 ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ ПО КУРСУ ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ

Каждый студент в течение семестра должен подготовить 1 реферат. Темы рефератов выдаются на 8 неделе. К 16 неделе студенты усваивают материал курса в полной мере. Защита рефератов проходит на 16 неделе в виде докладов. Все студенты принимают активное участие в обсуждении тем рефератов.

### 2 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

1. Электронные явления в пространстве катод-сетка. Электронные явления в пространстве сетка-анод. Ток сетки. Входная проводимость триода на СВЧ.
2. Триоды СВЧ. Обзор и физические принципы работы данных приборов СВЧ.
3. Тетроды СВЧ. Обзор и физические принципы работы данных приборов СВЧ.
4. Клистроны. Обзор и физические принципы работы данных приборов СВЧ.

### 3 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

1. Магнетроны. Обзор и физические принципы работы данных приборов СВЧ.
2. Лампы бегущей волны (ЛБВ) и обратной волны (ЛОВ). Лампа О-типа. Лампа М-типа. Обзор и физические принципы работы данных приборов СВЧ.
3. Платинотроны. Амплитроны и стабилитроны. Обзор и физические принципы работы данных приборов СВЧ.

7. ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ ПРИВЕДЕНЫ В ФОС

8. БИЛЕТЫ К ЗАЧЕТАМ ПРИВЕДЕНЫ В ФОС

### **9. Образовательные технологии**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по подготовке студентов для направления (специальности) 03.04.01 "Физика фундаментальных взаимодействий" реализация компетентного подхода к обучению предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. В рамках учебного курса студенты работают с лекциями, рекомендованной литературой, выполняют домашние задания. В процессе подготовки студенты используют информационные источники, размещенные в сети Интернет (официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений, тематические форумы и телекоммуникации), электронные учебники и учебно-методические пособия.

### **10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- 1 А.Д. Григорьев. Электродинамика и техника СВЧ. – М: Изд Высшая школа,
- 2 И.В. Лебедев. Техника и приборы СВЧ. - М: Изд.ВШ. Т.1 - 1970.
- 3 И.В. Лебедев. Техника и приборы СВЧ. - М: Изд.ВШ. Т.2 - 1972.
- 4 В.В. Никольский. Электродинамика и распространение радиоволн. – М: Наука, 1973.
- 5 В.М. Максимов. Линии передачи СВЧ диапазона. - МО РФ, УМО по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации. Выпуск 2, САЙНС - ПРЕСС, 2002.
- 6 В.М. Максимов. Устройства СВЧ: основы теории и элементы тракта. - МО РФ, УМО по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации. Выпуск 3, САЙНС - ПРЕСС, 2002.
- 7 Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. Под ред. Г.А. Ерохина. - М: Изд. Радио и связь, 1996.
- 8 Генераторы и усилители СВЧ. Под ред. И.В. Лебедева. М., Радиотехника, 2006.
- 9 Л.Г. Гассанов, А.А. Липатов, В.В. Марков, Н.А. Могильченко. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи- М: Изд. Радио и связь, 1988.
- 10 М.С. Гусятинер, А.И. Горбачев. Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды. – М: Изд. Радио и связь, 1983.
- 11 Т.Н. Нарытник, В.П. Бабак, М.Е. Ильченко, С.А. Кравчук. Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах. – Киев: Изд. Техника, 2000.
- 12 А.Л. Драбкин, В.Л. Зузенко, Ф.Г. Кислов. Антенно-фидерные устройства. – М: Изд. Сов. Радио, 1974.
- 13 А.А. Харкевич. Основы радиотехники. – М: Изд. Сов. Радио, 1962.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ю.А. Кацман. Приборы СВЧ. - М: Изд. ВШ. 1983.
- 2 А.Д. Царапкин. Генераторы СВЧ на диодах Ганна. – М: Изд. Радио и связь, 1982.
- 3 Радиорелейные и спутниковые системы передачи. Под ред. А.С. Немировского. – М: Изд. Радио и связь, 1986

## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Разделы: Ускорители; Приборы и техника эксперимента
- 2 Журнал технической физики

### **11. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническое обеспечение включает в себя специально оборудованные кабинеты и аудитории: компьютерные классы, аудитории, оборудование мультимедийными средствами обучения. Аудитория предоставляется по расписанию. Количество мест – не менее 10. В качестве лучшего восприятия предмета используются экскурсии на действующие резонансные электронные ускорители ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ: ЛУ10-20, ЛУ50, ЛУ8-2, БЕТА-8.

### **12. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Изучение дисциплины «Электронные СВЧ приборы» предполагает освоение материалов лекций, систематическую работу студентов в ходе проведения семинарских занятий, тестовых заданий, выполнение заданий для самостоятельной работы. При прослушивании курса должен быть усвоен необходимый объем знаний о работе и основных параметрах электронных приборов СВЧ. Должны быть получены представления о физических основах работы СВЧ приборов, и принципах проектирования систем питания резонансных СВЧ ускоряющих структур.

На лекциях раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемой темы, ставятся акценты на наиболее сложных положениях изучаемого материала. Материалы лекции используются студентами для подготовки к семинарским занятиям.

Целью семинарского занятия является рассмотрение основных и наиболее проблемных вопросов в рамках темы занятия, контроль за степенью усвоения студентами пройденного материала и ходом выполнения ими заданий самостоятельной работы. В ходе семинарских занятий закрепляются умения и навыки использования прослушанного в ходе лекций и самостоятельных работ материала, его дальнейшее осмысление с целью более глубокой увязки с общефизической картиной мира.

Задания для самостоятельной работы предусмотрены для закрепления и расширения знаний, умений и навыков, приобретенных в результате изучения дисциплины. Задания выполняются студентами в письменном виде во внеаудиторное время.

Работа должна носить творческий характер. При ее оценке учитывается обоснованность и оригинальность выводов. В письменной работе студент должен полно и всесторонне рассмотреть все аспекты задания, четко сформулировать и аргументировать свою позицию по исследуемым вопросам.

РП составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 03.04.01 Прикладная математика и физика специализация "Физика фундаментальных взаимодействий".

### **11 Контрольно-измерительные материалы**

Текущий и итоговый контроль знаний студентов:

- посещаемость занятий;

- участие в дискуссиях, консультирование студентов, проверка выполнения ими самостоятельных, контрольных и тестовых заданий, написание и защита реферата по предложенной теме;

- сдача зачета по билетам.

Оценка знаний по 100-бальной шкале в соответствии с критериями СарФТИ НИЯУ МИФИ реализуется следующим образом:

**Таблица 4 - Критерии оценки знаний студентов**

Сумма баллов по дисциплине	Оценка (ECTS)	Критерии оценивания
90 – 100	A	«Отлично» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.
85-89	B	«Очень хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество выполнения большинства из них оценено числом баллов, близким к максимальному.
75-84	C	«Хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество выполнения ни одного из них оценено минимальным числом баллов. Некоторые виды заданий выполнены с ошибками.
65-74	D	«Удовлетворительно» - теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено. Некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.
60-64	E	«Посредственно» - теоретическое содержание курса освоено частично. Некоторые практические навыки работы не сформированы. Многие предусмотренные программой обучения учебные задания не выполнены, либо качество выполнения некоторых из них оценено числом баллов, близким к минимальному.
Ниже 60	F	«Неудовлетворительно» - очень слабые знания, недостаточные для понимания курса, имеется большое количество основных ошибок и недочетов.



## **Лист регистрации изменений**

