

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ
директор ИСЭ СО РАН
академик РАН



Н. А. Ратахин Н. А. Ратахин

«24» августа 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ
«Мощная СВЧ-электроника»

основных профессиональных образовательных программ высшего образования —
программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)	Место дисциплины в учебном плане
1	03.06.01 Физика и астрономия	Физическая электроника	Вариативная часть, дисциплина по выбору
4		Электрофизика, электрофизические установки	Вариативная часть, дисциплина по выбору
5	11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи	Вакуумная и плазменная электроника	Вариативная часть, дисциплина по выбору

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре ООП

Перечень основных профессиональных образовательных программ высшего образования — программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям подготовки кадров высшей квалификации, в учебные планы которых входит данная дисциплина, и ее место в учебном плане обозначены на титульном листе настоящей рабочей программы.

Дисциплина изучает вопросы получения мощных импульсов электромагнитного излучения в СВЧ-диапазоне и смежных диапазонах частот с использованием интенсивных потоков релятивистских электронов. Рассматриваются основные механизмы излучения электромагнитных волн и их реализация в приборах релятивистской высокочастотной электроники: приборах с прямолинейными и криволинейными электронными пучками, приборах на основе вынужденного рассеяния волн. Подробно рассматривается релятивистская лампа обратной волны. Рассматриваются процессы генерации СВЧ-излучения в системах с виртуальным катодом, принципы, лежащие в основе получения мощных импульсов СВЧ-излучения предельно малой длительности, а также принципы работы и устройство приборов плазменной СВЧ-электроники.

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен:

знать: общую физику, классическую электродинамику, электродинамику сверхвысоких частот, физику пучков заряженных частиц, методы математической физики, основные представления квантовой механики.

уметь: применять методы дифференциального и интегрального исчисления, векторного анализа, теории функций комплексных переменных.

1.2. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является углубленное изучение методологических и теоретических основ мощной импульсной электроники сверхвысоких частот.

Задачи освоения дисциплины:

1. Приобретение аспирантом широких и систематических знаний о механизмах энергообмена между потоками заряженных частиц, электромагнитными колебаниями и волнами и возможностями использования этих механизмов для получения мощных импульсов когерентного электромагнитного излучения;

2. Формирование знаний об основных семействах приборов мощной импульсной СВЧ электроники, принципах их действия, особенностях устройства и функционирования.

3. Выработка у аспиранта умения и приобретение опыта использования математического аппарата в решении физических задач СВЧ электроники, а также навыков постановки численного эксперимента в задачах сильноточной СВЧ-электронике с использованием нестационарных компьютерных кодов на основе метода макрочастиц.

1.3. Формируемые компетенции

Освоение настоящей дисциплины дает вклад в формирование у обучающихся следующих компетенций:

ОПК-1: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-1: Наличие широких, целостных и глубоких знаний о механизмах энергообмена между потоками заряженных частиц, электромагнитными колебаниями и волнами и возможностями использования этих механизмов для получения мощных импульсов когерентного электромагнитного излучения; об основных семействах приборов мощной импульсной СВЧ электроники, принципах их действия, особенностях устройства и функционирования (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 той ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

ПК-2: Умение использования математического аппарата в решении физических задач СВЧ электроники, а также навыков постановки численного эксперимента в задачах сильноточ-

ной СВЧ-электронике с использованием нестационарных компьютерных кодов на основе метода макрочастиц (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 той ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

УК-1: Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК-2: Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

УК-3: Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Таблица соответствия компонентов фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине формируемым компетенциям приведена в п. 5.2 рабочей программы.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в часах)		
		Лекции	Практика	Самостоятельная работа
1	Вводный раздел	6	6	6
2	Механизмы излучения электромагнитных волн и их реализация в приборах релятивистской высокочастотной электроники	10	10	10
3	Релятивистская лампа обратной волны	8	8	8
4	СВЧ-генераторы с виртуальным катодом	4	4	4
5	Генерирование мощных импульсов СВЧ-излучения предельно малой длительности	6	6	6
6	Приборы плазменной СВЧ-электроники	2	2	2
	ИТОГО	36	36	36

2.2. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
	ПЕРВЫЙ СЕМЕСТР	36	1
	РАЗДЕЛ 1. Вводный раздел	6	0,17
1	Тема 1.1. Исторический обзор исследований и разработок в области элек-	2	0,055

	<u>Троники сверхвысоких частот</u> Основные идеи электроники сверхвысоких частот. Повышение мощности и частоты излучения. Переход к использованию пучков релятивистских частиц и сильноточных пучков. Применения СВЧ-электроники больших мощностей. Обзор математических методов анализа и методов численного эксперимента в СВЧ электронике.		
2	<u>Тема 1.2. Замедленные электромагнитные волны</u> Применение замедленных волн для генерации СВЧ-колебаний. Способы замедления электромагнитных волн. Применение диэлектриков. Различные виды электродинамических систем, замедляющих основную гармонику. Периодический волновод: пространственные гармоники, теорема Флоке, понятие о структурной волне. Поперечное распределение поля в замедленной волне.	2	0,055
3	<u>Тема 1.3. Возбуждение волноводов и резонаторов</u> Собственные моды волновода, их ортогональность. норма волны. Лемма Лоренца. Уравнение возбуждения волноводной моды заданным высокочастотным током. Сопротивление связи электронного пучка с полем рабочей гармоники волны. Собственные моды резонатора, их ортогональность. Норма колебания. Добротность резонатора. Уравнение возбуждения моды колебаний резонатора заданным высокочастотным током.	2	0,055
РАЗДЕЛ 2. Механизмы излучения электромагнитных волн и их реализация в приборах релятивистской высокочастотной электроники		10	0,28
4	<u>Тема 2.1. Механизмы излучения электромагнитных волн заряженными частицами</u> Принцип фазового синхронизма. Черенковское излучение. Переходное излучение. Дифракционное излучение (Смита—Парселла). Магнитотормозное излучение. Нормальный и аномальный эффекты Доплера. Рассеяние волн. Квантовомеханическая интерпретация. Частоты излучения, особенности излучения релятивистскими заряженными частицами. Осуществление вынужденного излучения электромагнитных волн электронными потоками. Принцип компактной группировки. Оптимальные параметры СВЧ-приборов с длительной инерционной группировкой параметры СВЧ-приборов с в зависимости от энергии частиц в электронном потоке, законы подобия	2	0,055
5	<u>Тема 2.2. Приборы с прямолинейными пучками: клистрон</u> Инерционная группировка электронов в прямолинейном потоке, прошедшем через узкий модулирующий зазор, амплитудно-фазовое распределение высокочастотного тока в дрейфовом пространстве. Принцип действия и устройство пролетного клистрона. Клистрон как умножитель частоты.	2	0,055
6	<u>Тема 2.3. Приборы с прямолинейными пучками: лампа бегущей волны</u> Инерционная группировка электронов в поле бегущей волны. Решение самосогласованной задачи в приближении малого сигнала. Параметр Пирса. ЛБВ как широкополосный усилитель, коэффициент усиления.	2	0,055
7	<u>Тема 2.4. Приборы с поперечным движением электронов в магнитном поле</u> Гирорезонансные приборы. Мазеры на циклотронном резонансе. Гиротронные генераторы и усилители. Явление авторезонанса. Мазер на циклотронном авторезонансе. Магнетрон. Фазовая группировка в скрещенных полях. Динамика объемного заряда в магнетронном диоде. Генератор на линии с магнитной самоизоляцией (MILO).	2	0,055
8	<u>Тема 2.5. Приборы, использующие рассеяние волн и дифракционное излучение</u> Использование магнитных вигглеров и ондуляторов. Лазеры на свободных электронах. Оротрон.	2	0,055
Раздел 3. Релятивистская лампа обратной волны		8	0,22
9	<u>Тема 3.1. Основные свойства ЛОВ, ее разновидности</u> Принцип действия и устройство ЛОВ (карсинотрона). Стационарные уравнения для ЛОВ. Стартовый ток. Стационарный, автомодуляционный и хаотический режимы генерации. Варианты устройства релятивистской ЛОВ.	2	0,055

	Релятивистская ЛОВ с отражателем на основе волновода с запердельным сужением. ЛОВ с катодным отражателем резонансного типа. Влияние попутной волны на работу ЛОВ. Влияние отражения волны от коллектора. Резонансная релятивистская лампа обратной волны, управление частотой генерации. ЛОВ на основе коаксиального волновода, проблема селекции колебаний.		
10	<u>Тема 3.2. Влияние объемного заряда электронного пучка на процесс генерации в ЛОВ</u> Волны объемного заряда в неограниченном электронном потоке. Эффекты объемного заряда при инерционной группировке в трубчатом электронном пучке. Влияние на амплитудно-фазовые характеристики высокочастотного тока. Зависимость эффективности генерации ЛОВ от параметра объемного заряда. Обратный электронный ток, его влияние на импеданс вакуумного диода, эффективность и частоту генерации.	2	0,055
11	<u>Тема 3.3. Циклотронное поглощение излучения в релятивистской ЛОВ</u> Основные уравнения, описывающие гирорезонансное взаимодействие волны с электронным пучком. Поглощение попутной волны. Поглощение встречной волны. Ширина полосы поглощения. Генераторы типа ЛОВ с внешним магнитным полем ниже и выше резонансного. Применение циклотронного поглощения в СВЧ-электронике для селекции колебаний.	2	0,055
12	<u>Тема 3.4. Механизм ограничения длительности импульса мощной релятивистской лампы обратной волны</u> Самопроизвольное ограничение длительности импульса излучения мощных СВЧ-генераторов, история исследования вопроса. Взрывоэмиссионные процессы в замедляющей системе. Стартовый ток ЛОВ с диссипацией. Особенности поглощения электромагнитной волны электронной нагрузкой, роль положительно заряженных ионов. Длительность импульса излучения, ограниченная движением синтетической плазмы в электродинамической системе, сценарий процесса. Методы увеличения длительности импульса излучения.	2	0,055
РАЗДЕЛ 4. СВЧ-генераторы с виртуальным катодом		4	0,11
13	<u>Тема 4.1. Применение электронных пучков с виртуальным катодом для получения мощных СВЧ-импульсов</u> Виртуальный катод в плоском эквипотенциальном зазоре. Обзор различных типов генераторов с виртуальным катодом. Релаксационные колебания объемного заряда в системе с виртуальным катодом. Виртуальный катод как фазовый сепаратор электронного тока. Взаимодействие электронного потока с виртуальным катодом с ВЧ полем в одномерной модели. Различные модели СВЧ-генераторов с виртуальным катодом.	2	0,055
14	<u>Тема 4.2. Двухсекционный виркатор</u> Двухззорная система с малой надкритичностью тока. Оптимальные параметры генератора. Управление частотой генерации виркатора. Формирование электронного пучка. Экспериментальная реализация СВЧ-генератора. Механизм ограничения длительности импульса излучения двухсекционного виркатора.	2	0,055
РАЗДЕЛ 5. Генерирование мощных импульсов СВЧ-излучения предельно малой длительности		6	0,17
15	<u>Тема 5.1. История вопроса и основные идеи</u> История исследований по генерированию мощных СВЧ-импульсов предельно короткой длительности. Условия реализации режима пространственного накопления энергии в коротком СВЧ-импульсе в протяженной системе с обратной волной. Линейное решение, удовлетворяющие условию синфазности ВЧ тока и ВЧ поля. Длительность импульса излучения.	2	0,055
16	<u>Тема 5.2. Нелинейный анализ и экспериментальная реализация генератора</u> Нелинейные решения, удовлетворяющие условию синфазности ВЧ тока и ВЧ поля. Расчет формирования импульса в самосогласованной модели. Оптимальные параметры однопроходного генератора. Условия эффективной	2	0,055

	работы двухпроходной системы. Возможность генерирования последовательности коротких СВЧ-импульсов в однопроходной системе, экспериментальная реализация устройства. Факторы, ограничивающие энергию и мощность СВЧ-импульса.		
17	<u>Тема 5.3. Особенности возбуждения колебаний в генераторе сверхкоротких СВЧ-импульсов</u> Система с обратной волной: инкремент колебаний в стартовой секции. Кинематические процессы в электронном пучке, формируемом на фронте импульса ускоряющего напряжения. Двухпотокное состояние пучка, фронтальный всплеск тока. Влияние сил объемного заряда. Влияние различных факторов на спектр высокочастотного тока в электронном пучке и раскочку колебаний в генераторе. Условия возбуждения высокочастотных колебаний с контролируемой фазой.	2	0,055
РАЗДЕЛ 6. Приборы плазменной СВЧ-электроники		2	0,055
18	<u>Тема 6.1. Электромагнитные волны в плазме и мощные плазменные СВЧ-приборы</u> Описание электромагнитных волн в плазме. Модель Друде. Применимость метода частиц для описания плазмы. Использование плазмы в качестве замедляющей системы. Устройство черенковского плазменного СВЧ-прибора. Плазменные генераторы и усилители. Широкополосные свойства. Механизмы ограничения длительности импульса излучения.	2	0,055
СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ		36	1,0

2.2.3. Практические занятия

Практические занятия проводятся в форме решения аспирантом модельных задач мощной СВЧ-электроники методом численного эксперимента с помощью компьютерных программ (полностью электромагнитного универсального кода КАРАТ, а также специализированных кодов на основе метода макрочастиц авторской разработки).

№ недели	Раздел учебного курса, содержание практического занятия	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
РАЗДЕЛ 1. Вводный раздел		6	0,17
1	Основы постановки численного эксперимента в задачах сильноточной СВЧ-электроники с помощью нестационарных кодов на основе метода макрочастиц (на примере кода КАРАТ, специализированных авторских кодов)	2	0,055
2	Численное моделирование различных способов получения замедленных электромагнитных волн и их гармоник с помощью осесимметричной версии кода КАРАТ	2	0,055
3	Численное моделирование возбуждения электромагнитных волн в волноводах и колебаний в резонаторах с помощью осесимметричной версии кода КАРАТ и одномерной PiC-модели	2	0,055
РАЗДЕЛ 2. Механизмы излучения электромагнитных волн и их реализация в приборах релятивистской высокочастотной электроники		10	0,28
4	Численное моделирование инерционной группировки в электронном пучке с помощью одномерной PiC-модели	2	0,055
5	Численное моделирование клистрона с помощью трехмерной версии кода КАРАТ	2	0,055
6	Численное моделирование гиротрона с помощью осесимметричной версии кода КАРАТ	2	0,055
7	Численное моделирование магнетрона с помощью трехмерной декартовой и трехмерной цилиндрической версий кода КАРАТ	2	0,055

8	Численное моделирование излучения Смита—Парселла и генератора дифракционного излучения (оротрона) с помощью осесимметричной версии кода КАРАТ	2	0,055
РАЗДЕЛ 3. Релятивистская лампа обратной волны		8	0,22
9	Определение стартового тока ЛОВ в одномерной PiC-модели. Исследование влияния затухания волны и условий отражения обратной волны на величину стартового тока	2	0,055
10	Исследование влияния сил объемного заряда на стартовый ток и эффективность генерации релятивистской ЛОВ в одномерной PiC-модели	2	0,055
11	Исследование циклотронного поглощения встречной и попутной волн в релятивистской ЛОВ на основе осесимметричной версии кода КАРАТ	2	0,055
12	Исследование влияния эмиссии заряженных частиц с поверхности замедляющей системы релятивистской ЛОВ на процесс генерации в осесимметричном численном эксперименте с помощью кода КАРАТ	2	0,055
РАЗДЕЛ 4. СВЧ-генераторы с виртуальным катодом		4	0,11
13	Определение частоты релаксационных колебаний в электронном потоке с виртуальным катодом и определение оптимальных параметров энергообмена в двухсекционной одномерной системе с виртуальным катодом с помощью одномерной PiC-модели	2	0,055
14	Оптимизация параметров двухсекционного виркатора и исследование возможности перестройки частоты излучения в трехмерном численном эксперименте с помощью кода КАРАТ	2	0,055
РАЗДЕЛ 5. Генерирование мощных импульсов СВЧ-излучения предельно малой длительности		6	0,17
15	Исследование автомодельных решений для уединенных СВЧ-импульсов в протяженных системах с обратной волной с помощью одномерной PiC-модели ЛОВ	2	0,055
16	Исследование процессов на фронте тока сильнооточного трубчатого электронного пучка и оптимизация однопроходного генератора сверхкоротких СВЧ импульсов в численном эксперименте с помощью одномерной PiC-модели ЛОВ	2	0,055
17	Исследование процессов на фронте тока сильнооточного трубчатого электронного пучка и оптимизация однопроходного генератора сверхкоротких СВЧ импульсов в двумерном численном эксперименте с помощью кода КАРАТ	2	0,055
РАЗДЕЛ 6. Приборы плазменной СВЧ-электроники		2	0,11
18	Численное моделирование плазменного релятивистского СВЧ-генератора с феноменологическим описанием плазмы и с описанием плазмы методом частиц с помощью осесимметричной версии кода КАРАТ	2	0,055
СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ		36	1,0

2.2.4. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- проработку учебного материала по конспектам лекций и учебной литературе,
- конспектирование и реферирование источников из списка дополнительной учебной и научной литературы;
- выполнение домашних заданий аналитического и расчетного характера.

2.2.5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к интернет-ресурсам, и в домашних условиях. Аспиранты имеют возможность получать консультации у лектора.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим основную и дополнительную учебную и научную литературу, а также конспекты лекций.

3. Учебно-методические материалы

3.1. Литература

а) основная литература:

1. Вайнштейн Л. А., Солнцев В. А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. – М.: Советское радио, 1973. – 398 с.
2. Гапонов-Грехов А. В., Петелин М. И. Релятивистская высокочастотная электроника // Вестник АН СССР, 1979, № 4, с. 11-23.
3. Кузелев М. В., Рухадзе А. А., Стрелков П. С. Плазменная релятивистская СВЧ-электроника / Под ред. А. А. Рухадзе. – Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 543 с.
4. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В двух томах. М.: Физматлит, 2003, 2004. – 496 с, 648 с.
5. Шевчик В. Н., Шведов Г. Н., Соболева А. В. Волновые и колебательные явления в электронных потоках на сверхвысоких частотах. Изд. Сарат. ун-та, 1962, 334 с.

б) дополнительная литература:

1. Вайнштейн Л. А. Переходные процессы при возбуждении волноводов // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 1998. – Т. 6. – № 1. С. 20.
2. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.
3. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ (в двух томах). Т. 1: Том Техника сверхвысоких частот. М.: Высшая школа, 1972. – 440 с.
4. Ковалев Н. Ф., Петелин М. И., Райзер М. Д., Сморгонский А. В. Приборы типа О, основанные на индуцированном черенковском и переходном излучениях релятивистских электронов. // В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 76—113.
5. Братман В. Л., Гинзбург Н. С., Ковалев Н. Ф., Нусинович Г. С., Петелин М. И. Общие свойства коротковолновых приборов с длительной инерционной группировкой. // в кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 249—274.
6. Каценеленбаум Б. З. Высокочастотная электродинамика. Основы математического аппарата. М.: Наука, 1966. – 240 с.
7. Пегель И. В. Электродинамика сверхвысоких частот. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2009. – 158 с.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. – 620 с.
9. Котетешвили П. В., Рыбак П. В., Тараканов В. П. KARAT — средство вычислительного эксперимента в электродинамике. Препринт № 44 ИОФ АН СССР. - М., 1991, 46 с.
10. Рабинович М. И., Трубецков Д. И. Введение в теорию колебаний и волн. - М.: Наука, 1984, 432 с.
11. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. – 704 с.
12. Силин Р. А., Сазонов В. П. Замедляющие системы. – М.: Сов. радио, 1966. – С. 104.
13. Тараненко З. И., Трохименко Я. К. Замедляющие системы. – Киев, 1965. – С. 39.
14. Шевчик В. Н., Трубецков Д. И. Аналитические методы расчета в электронике СВЧ. – М.: Сов. Радио, 1970. 584 с.
15. Ковалев Н. Ф. Электродинамическая система ультрарелятивистской ЛОВ // Электронная техника, серия 1: Электроника СВЧ. 1978. № 3. С. 102–106.

16. Быков Н. М., Губанов В. П., Гунин А. В., Коровин С. Д., Полевин С. Д., Ростов В. В., Сморгонский А. В., Якушев А. Ф. Релятивистский карсинотрон с высокой средней мощностью. // ЖТФ, 1989, Т.59, №5, с.32-38.
17. Братман В. Л., Губанов В. П., Денисов Г. Г., Коровин С. Д., Офицеров М. М., Полевин С. Д., Ростов В. В. Релятивистские генераторы миллиметрового диапазона длин волн. // В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 4, Горький: ИПФ АН СССР, 1984, с. 119-177.
18. Гинзбург Н. С., Новожилова Ю. В. Нелинейная теория вынужденного рассеяния волноводных мод на релятивистском электронном пучке, фокусируемом продольным магнитным полем. Основные уравнения. // Радиотехника и электроника. 1984. Т. 29. №12. С. 2419—2429.
19. Ковалев Н. Ф., Петелин М. И. Селекция мод в высокочастотных релятивистских электронных генераторах с распределенным взаимодействием. // В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Проблемы повышения мощности и частоты излучения. Горький: ИПФ АН СССР, 1981, с. 62—100.
20. Вайнштейн Л. А. О релятивистских электронных приборах типа «О» // ЖТФ. 1979. Т. 49. № 6. С. 1129—1147.

4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИСЭ СО РАН,
- средства мультимедиа,
- рабочее место аспиранта с выходом в Интернет,
- библиотечный фонд ИСЭ СО РАН,
- средства компьютерного эксперимента (код КАРАТ [9] и специализированные авторские PIS-коды).

5. Оценка качества освоения дисциплины

5.1. Оценочные мероприятия и формирование оценки

Оценка качества освоения дисциплины обучающимся осуществляется с использованием балльной системы. Перечень оценочных мероприятий и максимальное количество баллов, которое может быть получено обучающимся в результате каждого мероприятия, приведены в таблице.

Оценочное мероприятие	Максимальное число баллов
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)	20
Оценка работы на практических занятиях (практическое численное моделирование на персональном компьютере)	40
Дифференцированный зачет	40
Максимальный суммарный балл	100

На дифференцированном зачете аспиранту выставляется оценка и соответствующее ей число баллов:

«Отлично»: 32—40 баллов.

«Хорошо»: 23—31 баллов.

«Удовлетворительно»: 10—22 баллов.

«Неудовлетворительно»: 10 баллов и менее.

Итоговая оценка качества освоения дисциплины определяется величиной суммарного балла:

«Отлично»: 81—100 баллов.

- «Хорошо»: 61—80 баллов.
 «Удовлетворительно»: 41—60 баллов.
 «Неудовлетворительно»: 40 баллов и менее.

5.2. Соответствие оценочных мероприятий (компонентов ФОС) дисциплины формируемым компетенциям, перечисленным в п. 1.3

Компонента ФОС, оценочное мероприятие	Компетенции					
	ОПК-1	ПК-1	ПК-2	УК-1	УК-2	УК-3
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)		+	+			
Оценка работы на практических занятиях (практическое численное моделирование СВЧ-приборов и устройств)	+	+	+	+	+	+
Дифференцированный зачет	+	+	+	+		

Рабочая программа составлена на основании:

- федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлениям подготовки 03.06.01 Физика и астрономия и 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденных приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;
- паспортов специальностей научных работников 01.04.04 — физическая электроника; 01.04.13 — электрофизика, электрофизические установки; 05.27.02 — вакуумная и плазменная электроника;
- программ-минимумов кандидатских экзаменов по выше перечисленным специальностям, утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

Составитель рабочей программы
 профессор, д.ф.-м.н.



И. В. Пегель

Рабочая программа рассмотрена и одобрена ученым советом ИСЭ СО РАН.
 Протокол № 13 от «24» августа 2018 г.

Секретарь ученого совета, д.ф.-м.н.



И. В. Пегель

Дополнения и изменения в рабочей программе
за _____ / _____ учебный год

В рабочую программу дисциплины «Мощная СВЧ-электроника» вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИСЭ СО РАН.
Протокол № ____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

Секретарь ученого совета

подпись

Ф. И. О.