

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Институт физики

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор  
по научной деятельности КФУ  
проф. Д.К. Нургалеев

" 13 "  20  г.



**Программа дисциплины**

Радиофизика Б1.В.ОД.7

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия  
Профиль подготовки: 01.04.03 - Радиофизика  
Квалификация выпускника: «Исследователь. Преподаватель-исследователь»

## **1. КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ**

В ходе освоения дисциплины "Радиофизика" изучаются общие закономерностей генерации, передачи, приема, регистрации и анализа колебаний и волн различной физической природы, и разных частотных диапазонов; приобретаются дополнительные навыки использования знаний различных разделов радиофизики в профессиональной деятельности и, таким образом, проводится подготовка к сдаче кандидатского экзамена по специальности 01.04.03 – радиофизика. По курсу предусмотрено 36 часов лекций и 72 часа самостоятельной работы. Освоение дисциплины будет способствовать успешной профессиональной деятельности.

Общность изучаемых радиофизических закономерностей излучения, распространения, взаимодействия и трансформации колебаний и волн в различных средах, в том числе в неоднородных, нелинейных и нестационарных, позволяет включить радиофизические методы как универсальное средство исследования окружающей среды на самых различных уровнях: от микромира до космического пространства.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Данная учебная дисциплина включена в раздел «Б1.В.ОД Обязательные дисциплины» основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре. Осваивается на 3 году обучения, 5 семестр. Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке аспирантов.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

Обучающийся, завершивший изучение дисциплины, должен

знать:

- общие закономерности генерации, передачи, приема, регистрации и анализа колебаний и волн различной физической природы;
- методы измерений, анализа и обработки экспериментальных данных;
- направление развития научной деятельности, связанной с исследуемыми проблемами;
- компьютерные технологии для выделения информации из экспериментальных данных;
- основы организации научно- исследовательской деятельности;

уметь:

- использовать базовые теоретические знания в области радиофизики;
- применять на практике базовые профессиональные навыки в области радиофизики;
- понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиофизической аппаратуры;
- использовать основные методы радиофизических измерений;
- владеть компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий для решения задач в области радиотехники, радиоэлектроники и радиофизики;
- применять полученные навыки в профессиональном развитии и саморазвитии в области радиофизики и электроники;

владеть:

- навыками сбора информации, её анализа и методами обработки экспериментальных данных;
- навыками создания текстов, описывающих исследуемую тему;
- навыками работы на современной аппаратуре для сбора и обработке экспериментальных данных;

- компьютерными технологиями для обработки и выделения информации из экспериментальных данных;

демонстрировать способность и готовность:

- формулировать новые задачи, возникающие в ходе научных исследований; критически анализировать излагаемые в литературе проблемы по радиофизике;
- разрабатывать новые методы исследований, самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы радиофизических исследований;
- обрабатывать полученные результаты научных исследований на современном уровне и проводить их анализ;
- самостоятельно использовать пакеты прикладных программ для решения поставленных задач;
- работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий, следить за научной периодикой;
- излагать результаты исследований в виде отчетов, статей и презентаций.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции: УК-1, УК-3, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3

<b>Шифр компетенции</b>	<b>Расшифровка приобретаемой компетенции</b>
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-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
УК-5	способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
ПК-1	способность в соответствии с учебным планом самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области радиофизики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
ПК-2	способность принимать участие в разработке новых моделей и методов научного исследования в области радиофизики
ПК-3	способностью планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции

#### **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

##### **4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины (в часах) по видам нагрузки обучающегося и по разделам дисциплины**

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточной аттестации по дисциплине: экзамен в 5 семестре.

	Раздел дисциплины	Семестр	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
1.	Тема 1. Теория колебаний	5	6	0	0	6
2.	Тема 2. Теория волн	5	6	0	0	6
3.	Тема 3. Статистическая радиофизика	5	8	0	0	6
4.	Тема 4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами	5	8	0	0	6
5.	Тема 5. Антенны и распространение радиоволн	5	4	0	0	6
6.	Тема 6. Выделение сигналов на фоне помех	5	4	0	0	6
	Подготовка к кандидатскому экзамену					36
	Итого		36	0	0	72

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Теория колебаний

###### *лекционное занятие (6 часов):*

Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Вынужденные колебания. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Условия самовозбуждения. Хаотические колебания в динамических системах.

##### Тема 2. Теория волн

###### *лекционное занятие (6 часов):*

Плоские однородные и неоднородные волны. Поток энергии. Поляризация. Распространение сигнала в диспергирующей среде. Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Волны в периодических структурах. Приближение геометрической оптики. Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы. Волны в нелинейных средах без дисперсии. Уравнение Кортевега–де-Вриза и синус – Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света.

##### Тема 3. Статистическая радиофизика

###### *лекционное занятие (8 часов):*

Случайные величины и процессы, способы их описания. Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера—Хинчина. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум. Отклик линейной системы на шумовые воздействия. Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Взаимодействие случайных волн.

##### Тема 4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами

###### *лекционное занятие (8 часов):*

Принцип работы, устройство и параметры лазеров. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри—Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор.

Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Молекулярный генератор. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Волновое сопротивление. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Генерация волн в СВЧ-диапазоне. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана—Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет–сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

#### **Тема 5. Антенны и распространение радиоволн**

##### **лекционное занятие (4 часа):**

Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ-, СВ- и СВЧ-диапазонов. Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере.

#### **Тема 6. Выделение сигналов на фоне помех**

##### **лекционное занятие (4 часа):**

Задачи оптимального приема сигнала. Критерии Байеса, Неймана—Пирсона и Вальда проверки гипотез. Линейная фильтрация Колмогорова—Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Выделение сигнала из шума. Линейный фильтр Калмана—Бьюси. Стохастические уравнения для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра.

### **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Лекции (использование проблемных ситуаций), аспиранты могут выступать с презентациями по теме данной лекции, самостоятельная работа аспиранта (подготовка презентаций, подготовка к устному опросу), консультации

### **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

#### **Тема 1. Теория колебаний**

презентация, примерные вопросы:

устный опрос, примерные вопросы:

Записать систему уравнений для осциллятора, описываемого гамильтонианом

$$H = P^2/2 + kX^2/2, (k > 0).$$

Постройте фазовый портрет и определите период колебаний.

Классификация динамических систем по числу степеней свободы.

Классификация динамических систем по нелинейности системы

#### **Тема 2. Теория волн**

презентация, примерные вопросы:

устный опрос, примерные вопросы:

Плоские электромагнитные волны в однородной проводящей недиспергирующей изотропной среде. Дисперсионное уравнение, показатели преломления и поглощения, скин-слой, тангенс угла потерь, поляризация.

Материальные соотношения для компонент поля и их Фурье-образов при учете частотной и пространственной дисперсии. Общие свойства тензоров диэлектрической проницаемости, магнитной проницаемости и проводимости. Комплексный тензор диэлектрической

проницаемости. Связь между дисперсией и поглощением, соотношения Крамерса-Кронига. Высокочастотная асимптотика диэлектрической проницаемости.

### **Тема 3. Статистическая радиофизика**

презентация, примерные вопросы:

устный опрос, примерные вопросы:

Преобразованием Фурье

Определение вейвлет-преобразования и его возможности

Какую информацию о сигнале дает преобразование Фурье?

Какую информацию о сигнале дает вейвлет-преобразование ?

### **Тема 4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами**

презентация, примерные вопросы:

устный опрос, примерные вопросы:

Особенности радиопередатчиков с амплитудной, угловой, однополосной и импульсной модуляцией. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.

### **Тема 5. Антенны и распространение радиоволн**

презентация, примерные вопросы:

устный опрос, примерные вопросы:

Основные характеристики антенн. Влияние ионосферы на распространение радиоволн в различных диапазонах. Распространение радиоволн при приподнятых над Землей антеннах. Формула Введенского.

### **Тема 6. Выделение сигналов на фоне помех**

презентация, примерные вопросы:

устный опрос, примерные вопросы:

Фильтрация и прогнозирование стационарных случайных процессов. Согласованный фильтр или коррелятор. Простое обнаружение сигнала на фоне коррелированных нормальных помех. Обнаружение случайного процесса (полезного сигнала) на фоне другого случайного процесса (помехи) при заданных корреляционных свойствах обоих процессов. Явление Допплера.

## **7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

### **7.1. Регламент дисциплины**

Чтение лекций и проведение занятий проводится ведущими исследователями-специалистами университета в области радиофизики.

В рамках подготовки докладов и выступлений с презентациями, а также устного опроса приобретаются навыки и приемы подготовки ответов на вопросы кандидатского экзамена. В ходе семестра проводятся устные опросы, подготовка презентационных материалов отнесено к самостоятельной работе (в рамках выполнения домашних заданий).

Для лучшего освоения лекционного материала по курсу "Радиофизика" аспиранты готовят презентации по темами, выбираемым преподавателем и докладывают их на занятиях. Понимание аспирантами излагаемого материала проверяется путем общей дискуссии по теме презентации и при помощи проведения устного опроса.

### **7.2. Оценочные средства текущего контроля**

- устный опрос.

**Примерные вопросы:**

1. Классификация динамических систем по числу степеней свободы и по нелинейности системы

2. Плоские электромагнитные волны в однородной проводящей недиспергирующей изотропной среде.
3. Определение вейвлет-преобразования и преобразования Фурье и их возможности
4. Особенности радиопередатчиков с амплитудной, угловой, однополосной и импульсной модуляцией.
5. Влияние ионосферы на распространение радиоволн в различных диапазонах.
6. Фильтрация и прогнозирование стационарных случайных процессов.

### **7.3. Примерные вопросы для сдачи кандидатского экзамена по специальности**

**01.04.03 «Радиофизика» по физико-математическим наукам**(полный список вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине приведен в Приложении 1, каждый аспирант также должен утвердить на Ученом совете Института Физики дополнительную программу со списком вопросов по теме своего диссертационного исследования (образец дополнительной программы в Приложении 2)):

#### **1. Теория колебаний**

1. Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные колебательные системы.
2. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.
3. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.
4. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ван-дер-Поля, метод Крылова-Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.
5. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.
6. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.
7. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.
8. Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.
9. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.
10. Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.
11. Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

#### **2. Теория волн.**

1. Плоские однородные и неоднородные волны. Плоские акустические волны в вязкой теплопроводящей среде, упругие продольные и поперечные волны в твердом теле, электромагнитные волны в среде с проводимостью. Поток энергии. Поляризация.
2. Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Поле в средах с временной. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига и принцип причинности.

3. Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Оптические кристаллы, уравнение Френеля, обыкновенная и необыкновенная волны. Магнитоактивные среды. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы в магнитном поле; нормальные волны, их поляризация.
4. Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.
5. Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.
6. Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.
7. Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.
8. Волны в нелинейных средах без дисперсии. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргера для диссипативной среды и свойства его решений. Генерация гармоник исходного монохроматического сигнала, эффекты нелинейного поглощения, насыщения и детектирования.
9. Уравнение Кортевега-де Вриза и синус-Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и генерация.
10. Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки; параметрические излучатели звука.

### **3. Статистическая радиофизика**

1. Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений.
2. Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций.
3. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.
4. Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина, интеграл Дюамеля. Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума).
5. Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера-Планка.
6. Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.
7. Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Теорема Ван Циттерта-Цернике. Дифракция регулярной волны на случайном фазовом экране. Тепловое электромагнитное поле. Теорема взаимности.
8. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.
9. Взаимодействие случайных волн. Генерация второй оптической гармоники, самофокусировка и самомодуляция частично когерентных волн. Преобразование спектров шумовых волн в нелинейных средах без дисперсии.

### **4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами**

1. Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).



2. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.
3. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.
4. Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).
5. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода.  $TE$ -,  $TH$ ,- и  $TEM$ -волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.
6. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.
7. Генерация волн в СВЧ диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.
8. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).
9. Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.
10. Линейный электрооптический и магнитооптический эффекты и их применение для управления светом.

## **5. Антенны и распространение радиоволн**

1. Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ, СВ и СВЧ диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.
2. Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект "замирания". Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в подводном звуковом канале и тропосферном радиоволноводе.

## **6. Выделение сигналов на фоне помех**

1. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда проверки гипотез.
2. Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.
3. Линейная фильтрация Колмогорова-Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.
4. Линейный фильтр Калмана-Бьюси. Стохастические уравнения для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра. Уравнение для апостериорной информации в форме уравнения Риккати. Сравнение фильтрации методом Колмогорова-Винера и Калмана-Бьюси.
5. Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.

**7.4. Таблица соответствия компетенций, критериев оценки их освоения и оценочных средств**

Индекс компетенции	Расшифровка компетенции	Показатель формирования компетенции для данной дисциплины	Оценочное средство
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	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– общие закономерности генерации, передачи, приема, регистрации и анализа колебаний и волн различной физической природы;</li> <li>– методы измерений, анализа и обработки экспериментальных данных;</li> </ul> <p>демонстрировать способность и готовность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать новые задачи, возникающие в ходе научных исследований;</li> <li>критически анализировать излагаемые в литературе проблемы по радиофизике;</li> <li>- разрабатывать новые методы исследований, самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы радиофизических исследований;</li> </ul>	<p>1. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ват-дер-Поля, метод Крылова-Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.</p> <p>2. Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.</p> <p>3. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда проверки гипотез.</p>
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками сбора информации, её анализа и методами обработки экспериментальных данных;</li> <li>- навыками создания текстов, описываемых исследуемую тему;</li> </ul>	<p>1. Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).</p> <p>2. Режимы работы лазеров: непрерывный</p>

		<p>- навыками работы на современной аппаратуре для сбора и обработке экспериментальных данных;</p> <p>- компьютерными технологиями для обработки и выделения информации из экспериментальных данных;</p> <p>демонстрировать способность и готовность:</p> <p>- обрабатывать полученные результаты научных исследований на современном уровне и проводить их анализ;</p> <p>- самостоятельно использовать пакеты прикладных программ для решения поставленных задач;</p> <p>- работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий, следить за научной периодикой;</p> <p>- излагать результаты исследований в виде отчётов, статей и презентаций.</p>	<p>режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.</p> <p>3.Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).</p> <p>4. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. <math>TE</math>-, <math>TH</math>,- и <math>TEM</math>-волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.</p> <p>5. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.</p> <p>6. Генерация волн в СВЧ диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.</p>
УК-5	способность планировать и решать задачи собственного	<p>владеть:</p> <p>- навыками сбора информации, её анализа</p>	<p>1. Аналитические и качественные методы теории нелинейных</p>

	<p>профессионального и личностного развития</p>	<p>и методами обработки экспериментальных данных;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками работы на современной аппаратуре для сбора и обработке экспериментальных данных;</li> <li>- компьютерными технологиями для обработки и выделения информации из экспериментальных данных;</li> </ul> <p>демонстрировать способность и готовность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать новые задачи, возникающие в ходе научных исследований;</li> </ul> <p>критически анализировать излагаемые в литературе проблемы по радиофизике;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разрабатывать новые методы исследований, самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы радиофизических исследований;</li> <li>- обрабатывать полученные результаты научных исследований на современном уровне и проводить их анализ;</li> <li>- работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий, следить за научной периодикой;</li> </ul>	<p>колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ват-дер-Поля, метод Крылова-Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.</p>
ОПК-1	<p>способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей</p>	<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками сбора информации, её анализа и методами обработки экспериментальных данных;</li> </ul>	<p>1. Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в</p>

	<p>профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p>- навыками работы на современной аппаратуре для сбора и обработке экспериментальных данных;</p> <p>- компьютерными технологиями для обработки и выделения информации из экспериментальных данных;</p> <p>демонстрировать способность и готовность:</p> <p>- разрабатывать новые методы исследований, самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы радиофизических исследований;</p> <p>- самостоятельно использовать пакеты прикладных программ для решения поставленных задач.</p>	<p>первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Поле в средах с временной. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига и принцип причинности.</p> <p>2. Линейная фильтрация Колмогорова-Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.</p> <p>3. Линейный фильтр Калмана-Бьюси. Стохастические уравнения для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра. Уравнение для апостериорной информации в форме уравнения Риккати. Сравнение фильтрации методом Колмогорова-Винера и Калмана-Бьюси.</p> <p>4. Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.</p>
ПК-1	<p>способность в соответствии с учебным планом самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области Радиофизики и решать их с помощью</p>	<p>уметь:</p> <p>- использовать базовые теоретические знания в области радиофизики;</p> <p>- применять на практике базовые профессиональные навыки в области</p>	<p>1. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и</p>

	<p>современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>радиофизики;  - понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиофизической аппаратуры;  - использовать основные методы радиофизических измерений;  - владеть компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий для решения задач в области радиотехники, радиоэлектроники и радиофизики;  - применять полученные навыки в профессиональном развитии и саморазвитии в области радиофизики и электроники;</p>	<p>Вальда проверки гипотез.  2. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.  3. Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.  4. Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.</p>
ПК-2	<p>способность принимать участие в разработке новых моделей и методов научного исследования в области радиофизики</p>	<p>демонстрировать способность и готовность:  - формулировать новые задачи, возникающие в ходе научных исследований;  критически анализировать излагаемые в литературе проблемы по радиофизике;  - разрабатывать новые методы исследований, самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы радиофизических исследований;  - работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий, следить за научной периодикой.</p>	<p>1. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.  2. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ват-дер-Поля, метод Крылова-Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.  3. Распространение сигнала в диспергирующей среде.</p>

			<p>Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Поле в средах с временной. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига и принцип причинности.</p> <p>4. Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.</p> <p>5. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда проверки гипотез.</p> <p>6. Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.</p>
ПК-3	<p>способностью планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции</p>	<p>демонстрировать способность и готовность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать новые задачи, возникающие в ходе научных исследований;</li> <li>критически анализировать излагаемые в литературе</li> </ul>	<p>1. Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).</p> <p>2. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо,</p>

		<p>проблемы по радиофизике;</p> <p>- разрабатывать новые методы исследований, самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы радиофизических исследований;</p> <p>- обрабатывать полученные результаты научных исследований на современном уровне и проводить их анализ;</p> <p>- излагать результаты исследований в виде отчётов, статей и презентаций.</p>	<p>конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор.</p> <p>3. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.</p> <p>4. Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).</p> <p>5. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. <math>TE</math>-, <math>TH</math>-, и <math>TEM</math>-волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.</p> <p>6. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.</p> <p>7. Генерация волн в СВЧ диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.</p> <p>8. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).</p>
--	--	--	---



			<p>9. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.</p> <p>10. Вибратор Герца. Антенны для ДВ, СВ и СВЧ диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки.</p> <p>11. Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в подводном звуковом канале и тропосферном радиоволноводе.</p>
--	--	--	--

## **8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Для лучшего освоения лекционного материала по курсу "Радиофизика" аспиранты готовят презентации по каждой из рассматриваемых тем и докладывают их на практических занятиях. Понимание аспирантами излагаемого материала проверяется путем общей дискуссии по теме презентации.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **9.1. Основная литература**

1. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Статистическая радиофизика и оптика, [Электронный ресурс] Физматлит, 2010 - : 423 с. - ISBN: 978-5-9221-1204-8 Режим доступа: - [http:// e.lanbook.com/view/book/48263/](http://e.lanbook.com/view/book/48263/)

2. Ботов, М. И., Вяхирев В. А., Девогач В. В. Введение в теорию радиолокационных систем [Электронный ресурс] : монография / М. И. Ботов, В. А. Вяхирев, В. В. Девогач; ред. М. И. Ботов. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 394 с. - ISBN 978-5-7638-2740-8. Режим доступа: - <http://znaniyum.com/bookread.php?book=492976>

3. Молчанов, А. П. Курс электротехники и радиотехники: учеб. пособие / А. П. Молчанов, П.Н. Занадворов. —4-е изд., стереотипн. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 608 с.: ил. - ISBN 978-5-9775-0544-4.

### **9.2. Дополнительная литература**

1. Шахтарин Б. И. Обнаружение сигналов. М.: Гелиос АРВ, 2006 - <http://www.ozon.ru>

2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Высшая школа, 1988. - 448 с.

### **9.3. Интернет-ресурсы:**

Эл.ресурс znanium.com, e.lanbook.com, ozon.ru, livelib.ru

## **10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Освоение дисциплины "Радиофизика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью до 30 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций по направлению подготовки.

Автор(ы): заведующий кафедрой, д.ф.-м.н. (доцент) Шерстюков О.Н., профессор, д.ф.-м.н., профессор Карпов А.В.

Рецензент(ы): зав. кафедрой, к.ф.-м.н., доцент Акчурин А.Д.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий кафедрой радиофизики:

Протокол заседания кафедры №1 от "9" сентября 2014 г

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии Института протокол №7 «11» сентября 2014 г.

Приложения:

Приложение 1. Программа кандидатского экзамена по радиофизике (01.04.03)

Приложение 2. Образец дополнительной программы на кандидатский экзамен по специальности.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ кандидатского экзамена по специальности****01.04.03 «Радиофизика»**

по физико-математическим и техническим наукам

**1. Теория колебаний**

1. Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабо нелинейные колебательные системы.
2. *Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.*
3. *Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.*
4. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ван-дер-Поля, метод Крылова-Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.
5. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.
6. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.
7. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.
8. Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.
9. *Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.*
10. Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.
11. Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

**2. Теория волн**

1. *Плоские однородные и неоднородные волны. Плоские акустические волны в вязкой теплопроводящей среде, упругие продольные и поперечные волны в твердом теле, электромагнитные волны в среде с проводимостью. Поток энергии. Поляризация.*
2. *Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Поле в средах с временной. Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига и принцип причинности.*
3. *Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Оптические кристаллы, уравнение Френеля, обыкновенная и необыкновенная волны. Магнитоактивные среды. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы в магнитном поле; нормальные волны, их поляризация.*
4. *Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.*
5. *Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.*
6. *Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.*
7. *Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.*
8. *Волны в нелинейных средах без дисперсии. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргерса для диссипативной среды и свойства его решений. Генерация гармоник исходного монохроматического сигнала, эффекты нелинейного поглощения, насыщения и детектирования.*
9. *Уравнение Кортевега-де Вриза и синус-Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и генерация.*
10. *Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки; параметрические излучатели звука.*

### **3. Статистическая радиофизика**

1. *Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений.*

2. *Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций.*
3. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.
4. Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина, интеграл Дюамеля. Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума).
5. Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера-Планка.
6. Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.
7. *Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Теорема Ван Циттерта-Цернике. Дифракция регулярной волны на случайном фазовом экране. Тепловое электромагнитное поле. Теорема взаимности.*
8. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.
9. Взаимодействие случайных волн. Генерация второй оптической гармоники, самофокусировка и самомодуляция частично когерентных волн. Преобразование спектров шумовых волн в нелинейных средах без дисперсии.

#### **4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами**

1. *Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).*
2. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.
3. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.
4. Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).
5. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода.  $TE$ -,  $TH$ -, и  $TEM$ -волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.

6 Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.

7. *Генерация волн в СВЧ диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.*

8. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).

9. Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

10. Линейный электрооптический и магнитооптический эффекты и их применение для управления светом.

### **5. Антенны и распространение радиоволн**

1. Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ, СВ и СВЧ диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.

2. Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект "замирания". Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в подводном звуковом канале и тропосферном радиоволноводе.

### **6. Выделение сигналов на фоне помех**

1. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда проверки гипотез.

2. Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.

3. Линейная фильтрация Колмогорова-Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.

4. Линейный фильтр Калмана-Бьюси. Стохастические уравнения для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра. Уравнение для апостериорной информации в форме уравнения Риккати. Сравнение фильтрации методом Колмогорова-Винера и Калмана-Бьюси.
5. Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.

Приложение 2.  
**О Б Р А З Е Ц**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Председатель Ученого Совета  
Института физики  
Никитин С.И.  
Ф.И.О

\_\_\_\_\_  
(подпись)  
Протокол № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Дополнительная программа**

Для сдачи кандидатского экзамена по специальности \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(шифр и наименование специальности)  
аспиранта (соискателя) кафедры \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О аспиранта, соискателя)

Тема диссертации: « \_\_\_\_\_ »

Вопросы:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

....

15. \_\_\_\_\_

**Литература**

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

....

10. \_\_\_\_\_

**Научный руководитель**  
(уч. степень, уч. звание, должность)

**Ф.И.О**



Соискатель

Ф.И.О

Рассмотрено на заседании кафедры ....

Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.