

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Сибирский федеральный университет»

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебной работе,  
д-р пед. наук, профессор  
В. Гафурова



**ПРОГРАММА**  
кандидатского экзамена  
по специальности 01.04.03 – Радиофизика

Красноярск 2012

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

**Введение**

Настоящая программа базируется на кратком паспорте специальности 01.04.03 и на следующих дисциплинах: теория колебаний, теория волн, статистическая радиофизика, принципы усиления, генерации и управления сигналами, антенны и распространение радиоволн, выделение сигналов на фоне помех. Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по физике при участии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Московского физико-технического института (государственного университета).

**1. Теория колебаний**

Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабонелинейные колебательные системы.

Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.

Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.

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.

Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.

Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.

Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.

Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.

Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.

Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

## 2. Теория волн

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.

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.

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.

Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.

Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.

Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.

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. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргера для диссипативной среды и свойства его решений. Генерация гармоник исходного монохроматического сигнала, эффекты нелинейного поглощения, насыщения и детектирования.

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.

Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки; параметрические излучатели звука.

## 3. Статистическая радиофизика

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

Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера—Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций.

Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.

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).

Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера—Планка.

Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.

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.

Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.

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

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

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. Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.

Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).

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.

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

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.

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

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.

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

## 5. Антенны и распространение радиоволн

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.

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

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

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

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.

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.

Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.

## Основная литература

- Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2001.
- Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М.: Наука, 1990.
- Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Основы теории колебаний и волн. М.: Наука, 1987.
- Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики. М.: Наука, 1981.
- Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981.
- Цейтлин Н. М. Антенная техника и радиоастрономия. М.: Радио и связь, 1976.
- Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991.
- Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987.
- Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. М.: Мир, 1990.
- Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989.
- Воскресенский Д. И., Гостюхин В, Л., Максимов В. М., Пономарев Л. И. / Устройства СВЧ и антенны / Под. ред. Д. И. Воскресенского. Изд. 3-е, испр. и доп. — М.: Радиотехника, 2008.

### Дополнительная литература

- Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981.
- Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
- Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988.
- Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974.
- Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1: Случайные процессы. М.: Наука, 1976.
- Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2: Случайные поля. М.: Наука, 1978.
- Гауер Дж. Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989.
- Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем. М.: Радио и связь, 1974.
- Балакшиев В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985.
- Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. М.: Мир, 1981.
- Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: Сов. радио, 1973.
- Зверев В.А. Радиооптика. М.: Сов. радио, 1975.
- Букингом М. Шумы в электронных приборах и системах. М.: Мир, 1986.
- Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1983.
- Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989.
- Ландау Л. В., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Т. V, Ч. 1. М.: Наука, 1999.
- Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. М.: Наука, 1999.
- Техническая электродинамика : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Е. И. Нефедов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 416 с.
- Неганов В. А., Осипов О. В., Раевский С. Б., Яровой Г. П. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебник / Под ред. В. А. Неганова и С. Б. Раевского. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Радиотехника, 2009.