

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Полярный геофизический институт»  
(ПГИ)

УТВЕРЖДАЮ  
Врио директора ПГИ  
д.ф.-м.н. Б.В. Козелов

---

«    » октября 2016г.

Протокол Ученого совета  
№ 6 от « 30 » сентября 2016 г.

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

Апатиты  
2016

## **Теория колебаний и сигналов**

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

Методы теории нелинейных колебаний. Анализ движения на фазовой плоскости. Метод малого параметра. Укороченные уравнения.

Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем конечной длины. Представление вынужденных колебаний в форме ряда по собственным колебаниям и в форме бегущих волн.

Теория линейных систем. Прохождение сигнала через линейные системы -спектральный и временной методы. Свойства спектральных функций. Физическая осуществимость четырехполюсника. Теория устойчивости линейной системы. Критерии Найквиста, Михайлова и Раусса-Гурвица.

Цифровые фильтры. Дискретизация сигнала. Теорема отсчетов. Линейность фазовой характеристики нерекурсивного фильтра. Синтез рекурсивного фильтра по заданной частотной характеристике с помощью билинейного преобразования.

Обнаружение и выделение сигнала на фоне помех. Оптимальные фильтры для выделения детерминированного сигнала, критерий их построения. Оптимальные фильтры для статистических сигналов, критерий их построения. Интегральное уравнение для фильтра 1-го рода. Простая и сложная фильтрация. Интегральное уравнение для фильтра 2-го рода. Метод факторизации. Теория принятия статистических решений. Критерий Байеса. Минимаксный критерий. Критерий Неймана-Пирсона.

Элементы теории информации. Количественное определение информации, содержащейся в сообщении. Энтропия источников дискретных сообщений. Теорема Шеннона для канала без помех. Основная теорема Шеннона для дискретного канала с шумом.

## **Статистическая радиофизика**

Основные понятия теории случайных процессов. Стационарные и нестационарные случайные процессы. Случайные процессы и их описание.

Марковские процессы. Уравнение марковского процесса и уравнение Фоккера-Планка. Замена реального случайного процесса марковским.

Случайные поля. Однородные и изотропные поля скалярных и векторных величин. Их корреляционные функции и спектры. Тепловые флуктуации в электродинамике.

## **Теория волн**

Распространение плоских волн в материальных средах при учете временной и пространственной дисперсии. Общий вид дисперсионного уравнения.

Представление волновых пучков в виде суперпозиции плоских волн. Дифракционное расщепление пучка. Волновой параметр. Дифракция Френеля и Фраунгофера.

Распространение волны в нелинейной среде без дисперсии. Образование ударной волны.

Распространение волн в нелинейной среде с учетом слабой диссипации. Уравнение Бюргерса, его стационарное и нестационарное решения.

Распространение волн в нелинейной среде с учетом слабой дисперсии. Уравнение Кортевега-де-Вриза. Стационарные решения (солитон и периодические решения). Качественное описание эволюции нестационарных решений.

Общие закономерности распространения волн в анизотропных средах. Нормальные волны в кристаллических и магнитоактивных средах.

Общая теория регулярных волноводов и резонаторов. Цилиндрические волны. Волны поперечно-электрического (ТЕ) и поперечно-магнитного (ТМ) типа в регулярных волноводах. Граничные частоты. Фазовая и групповая скорости в волноводе. Прямоугольный и круглый волноводы. Граничные частоты и конфигурация поля для Е и Н-типов, токи на стенках. Вырождение волн. Концепция Бриллюэна. Волноводные волны и кабельная волна в коаксиальном волноводе. Свободные колебания прямоугольного резонатора.

Возбуждение волноводов. Лемма Лоренца. Теоремы взаимности. Понятие магнитного тока и магнитного диполя. Ортогональность собственных векторных функций регулярного волновода. Энергетическая независимость собственных волн регулярного волновода. Возбуждение бесконечного и полубесконечного регулярного волновода. Возбуждение токами и щелями.

Общая теория волноводов и полых резонаторов с учётом конечной проводимости стенок. Приближенные граничные условия Леонтовича. Влияние конечной проводимости стенок на затухание поля в волноводах и резонаторах.

Медленные волны. Замедление диэлектрической пластиной. Гребенчатые замедляющие системы. Симметричная волна в спиральном волноводе.

## **Квантовая радиофизика**

Физические основы магнитного резонанса. Спин, энергия спина в магнитном поле. Явление магнитного резонанса. Намагниченность вещества, установление статической ядерной намагниченности. Уравнения Блоха и их решение. Квадрупольный момент ядра.

ЯМР. Основные типы взаимодействия ядерных спинов и их связь со структурой исследуемых веществ. Влияние молекулярной подвижности на эффективные значения энергии взаимодействий.

Спектры ЯМР в жидкостях: гамильтонианы магнитных взаимодействий, количество и относительная интенсивность линий, СТС, химический сдвиг. Динамический ЯМР.

ЯМР в твердых телах. Форма линии спектра. Моно- и поликристаллы. Методы подавления прямых диполь-дипольных и квадрупольных взаимодействий в твердых телах. Экспериментальная методика определения тензора градиента электрического поля в кристаллах. ЯМР в магнитоупорядоченных веществах.

Ядерная магнитная релаксация. Спин-спиновая и спин-решеточная релаксация. Спиновая температура. Квантово-механическое описание релаксации в двухуровневых и многоуровневых системах. Основное уравнение теории Редфилда. Механизмы релаксации. Связь релаксации с молекулярной подвижностью. Особенности ЯМР-релаксации в жидкости и твердых телах.

Перенос поляризации: эффект Оверхаузера, перенос поляризации радиочастотным полем. Двойные резонансы. Спиновая развязка: гетероядерная, внерезонансная, широкополосная.

Физические основы ЭПР. ЭПР в кристаллах. ЭПР радикалов и ионов металлов. Сверхтонкое взаимодействие. Спиновый обмен. Применение ЭПР для исследования вещества в конденсированном состоянии.

Интроскопия ЯМР. Формирование изображения: последовательная выборка по точкам, линиям, плоскостям. Методы контрастирования изображения. Аппаратура для томографических экспериментов.

Квантовое усиление электромагнитных полей. Вероятности квантовых переходов.

Использование спектральных линий в качестве узкополосных фильтров.

Стабилизация частоты, квантовые стандарты частоты.

Квантовые усилители и генераторы на атомных и молекулярных пучках.

Физические основы работы квантовых генераторов. Генераторы на пучках азота и водорода, цезиевый стандарт частоты. Устройство генераторов. Причины нестабильности частоты.

Квантовые усилители на основе ЭПР. Магнитная добротность. Применение вспомогательного излучения. Квантовые усилители: резонаторные и бегущей волны. Собственные шумы квантовых усилителей.

Квантовые стандарты частоты с оптической накачкой. Применение оптической накачки для усиления сигнала радиодиапазона. Квантовый стандарт частоты на парах рубидия.

## Литература

1. М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. М., Наука, 1992.
2. М.Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухорукое. Теория волн. М., Наука, 1990.
3. Л.И. Мандельштам. Лекции по теории колебаний. М., Наука, 1972.
4. С.М. Рытов. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1-2. М., 1976-1978.
5. В.Л. Гинзбург. Распространение электромагнитных волн в плазме. М., Наука, 1967.
6. Н. Бломберген. Нелинейная оптика. М., Мир, 1966.
7. И.С. Гоноровский. Радиотехнические цепи и сигналы. М., Радио и связь, 1989.
8. Л.А. Вайнштейн, В.Д. Зубаков. Выделение сигналов на фоне случайных помех. М., Сов. радио, 1960.
9. К.Э. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. М., ИЛ, 1963.
10. Р.В. Хемминг. Цифровые фильтры. М., Недра, 1987,
11. Б.З. Каценеленбаум. Высокочастотная электродинамика. М., Наука, 1966.
12. Л.А. Вайнштейн. Электромагнитные волны. М., Радио и связь, 1988.

13. Ядерный магнитный резонанс: Учеб. пособие. // Под ред. П. М. Бородина.- Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1982.
14. В.И.Чижик. Ядерная магнитная релаксация: Учеб. пособие. Изд-е 2-е, перераб. и, доп. - СПб: Изд-во СПбГУ, 2000.
15. Р.Эрнст, Дж.Боденхаузен, А.Вокаун. ЯМР в одном и двух измерениях: Пер. с англ.- М.: Мир, 1990.
16. М.И.Куркин, Е.А.Туров. ЯМР в магнитоупорядоченных веществах и его применения. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.
17. С.А.Альтшулер, Б.М.Козырев. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. - М., 1972.
18. Ч.Сликтер. Основы теории магнитного резонанса. - М., 1981.
19. А.Абрагам. Ядерный магнетизм. - М., 1963.
20. У.Хаберлен, М.Меринг. ЯМР высокого разрешения в твердых телах: Пер. с англ. - М.:Мир, 1980.
21. Физические основы квантовой радиофизики: Учеб. пособие. // од ред. П.М.Бородина, Л. Н. Лабзовского. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.
22. А.Сигмен. Мазеры. - М., 1966.