



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра радиофизики и радиоэлектроники



УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
/ Н.М. Буднев
«17» апреля 2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: **Радиофизика**

Научная специальность: **1.3.4 Радиофизика**

Форма обучения очная

Согласовано с УМК:
физического факультета
Протокол № 42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор
Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:
радиофизики и радиоэлектроники

Протокол № 8
от «8» апреля 2024 г.
И.о. зав. кафедрой к.ф.-м.н., доцент
С.Н. Колесник

Иркутск 2024 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля).....	3
2. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
3. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	4
4. Содержание дисциплины (модуля)	5
4.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	5
4.2 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий.....	8
5. Примерная тематика рефератов (при наличии)	8
6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	9
а) основная литература	9
б) дополнительная литература.....	9
7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	10
8. Образовательные технологии	10
9. Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	10

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цели:

- получение аспирантами ключевых представлений об основных подходах к описанию радиофизических процессов и явлений;
- формирование у аспирантов систематических знаний о методах решения теоретических и практических задач радиофизики на основе современных математических моделей описания физических объектов;
- развитие научного мышления и создание фундаментальной базы для дальнейшей успешной профессиональной деятельности в областях, связанных с текущими исследованиями аспирантов.

Задачи:

- изучение современных представлений о радиофизических моделях и математических методах описания реальных объектов;
- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями современной радиофизики, а также методами физического исследования;
- формирование научного мировоззрения и современного физического мышления;
- приобретение и развитие навыков решения конкретных радиофизических проблем с использованием подходов и методов математической физики;
- формирование умений и навыков обоснования и применения адекватных математических моделей для описания радиофизических процессов.

2. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Дисциплина «Радиофизика» является профильной для программы аспирантуры по специальности 1.3.4 Радиофизика, и изучается аспирантами на четвёртом году обучения с последующей аттестацией в форме экзамена.

В результате изучения курса «Радиофизика» аспирант должен:

Знать:

- современные представления о природе основных радиофизических явлений, о причинах их возникновения и взаимосвязи;
- основные понятия и теории, описывающие состояние радиофизических объектов и протекающие в них физические процессы;
- математические методы, позволяющие адекватно описать и объяснить протекание любого конкретного радиофизического процесса или явления;

Уметь:

- использовать знания фундаментальных основ и методов радиофизики для решения практических задач;

4. Содержание дисциплины (модуля)

4.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Раздел 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.

Раздел 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. Фа-

завая 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 Бюргерса 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.

Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ-, СВ-и СВЧ-диапазонов. 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».

Понятие тропосферного радиоволновода. Ход лучей в и тропосферном радиоканале.

Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция.

Раздел 3. Статистическая радиофизика и теория информации

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 шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.

Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина.

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.

Оптимальный прием сигнала. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия.

Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда.

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.

Раздел 4. Теория информации

Основные понятия теории информации. Энтропия и ее свойства.

Теорема Шеннона.

Экономное и помехоустойчивое кодирование.

Взаимная информация.

Определение количества информации.

Построение экономных и помехоустойчивых кодов, оценка их эффективности.

4.2 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					
			Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Теория колебаний	Теория колебаний	0,6				20	20,6
2.	Теория волн	Теория волн	0,6				20	20,6
3.	Статистическая радиофизика	Статистическая радиофизика	0,6				20	20,6
4.	Теория информации	Теория информации	0,2				10	10,2

5. Примерная тематика рефератов (при наличии)

Рефераты не предусмотрены.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

Программой предусмотрено использование современных образовательных технологий: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедийные, использование документальных видеоматериалов).

а) основная литература

1. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. М. : Либроком, 2011.- 542 с. (3 экз).
2. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн / С. И. Баскаков. М. : Либроком, 2012.-416 с. (2 экз).
3. Кураев А.А. Электродинамика и распространение радиоволн / А. А. Кураев, Т. Л. Попкова, А. К. Синицын. - Минск : Новое знание, 2013.- 424 с. (2 экз).
4. Яковлев О.И. и др.. Распространение радиоволн. Изд: ЛЕНАНД .2009. (3 экз).
5. Виноградова М. Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: Наука, 1990. (3 экз).
6. Вернер М. Основы кодирования : Учебник для вузов / М. Вернер ; пер. с нем. Д. К. Зигангирова. - М. : Техносфера, 2006. - 286 с. (2 экз).
7. Карлов Н. В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2001. (3 экз).
8. Рытов С. М.. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976. (3 экз).
9. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И.. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. – М.: Наука, 1978. (3 экз).

б) дополнительная литература

10. Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск:ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН.- 2006.- 480 с. (3 экз).
11. Томпсон А.Р. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии / А.Р. Томпсон ; Д.М. Моран, Д.У. Свенсон. 2003. - 624 с. (1 экз).
12. Иванов В.Б. Теория волн. Курс лекций. Изд.-во. Иркутского государственного университета. 2006 г. (15 экз).
13. Моисеев Н. Н.. Асимптотические методы нелинейной механики. – М.: Наука, 1981 (2 экз).
14. Левин Б. Р.. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 356 с. (3 экз).

в) *программное обеспечение* пакеты MS Office

г) *базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
- Информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНИТИ (<http://www.viniti.ru>)
- Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>)
- ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Методическим оформлением курса является использование современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео, документальные фильмы), дистанционных. Внедрение глобальной компьютерной сети в образовательный процесс позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в области радиопизики.

8. Образовательные технологии:

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих аспирантов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью аспирантов осуществляется на лекционных и занятиях и во время консультаций в виде самостоятельных работ

9. Фонды оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса аспирант должен владеть основами физики и радиофизики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль умений и знаний не проводится..

План самостоятельной работы аспирантов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Все темы	Решение задач	Задачи по конкретной теме программы	Основная литература	20
2.	Колебания и волны в регулярных и стохастических средах	Выполнение работы научно-исследовательской направленности	Натурные и численные эксперименты.	Основная литература	20
3.	Избранные вопросы радиофизики	Подготовка научного доклада	Сделать презентацию	Вся литература из программы курса	20
4.	ВСЕ ТЕМЫ	Подготовка к экзамену	Повторить все разделы курса	Основная литература	10

Методические указания по организации самостоятельной работы аспирантов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через практические работы, выполнение контрольных заданий и тестов, написание выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа аспирантов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Текущая работа над учебными материалами включает в себя систематизацию теоретического материала каждой практической работы, заполнения пропущенных мест, уточнения схем и выделения главных мыслей основного содержания работы. Для этого используются имеющиеся учебно-методические материалы и другая рекомендованная литература.

Границы между разными видами самостоятельных работ достаточно размыты, а сами виды работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа аспирантов может быть как в аудитории, так и вне ее.

Закрепление всего изученного материала осуществляется на контрольной работе. Также может быть проведено тестирование по всем темам курса. Преподаватель помогает разобраться с проблемными вопросами и задачами (по мере их поступления) в ходе текущих консультаций.

9.1. Оценочные средства текущего контроля

Текущий контроль успеваемости аспирантов осуществляется по следующим критериям оценивания:

1) Пороговый уровень:

- **(знание)** дает определения основных понятий
 - воспроизводит основные физические факты, идеи
 - распознает физические объекты
 - знает основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике
- **(умение)** умеет работать со справочной литературой

- использует приборы, указанные в описании лабораторной (или практической) работы
- умеет представлять результаты своей работы
- **(владение)** владеет терминологией предметной области знания
 - способен корректно представить знания в математической форме

2) Базовый уровень

- **(знание)** понимает связи между различными физическими понятиями
 - имеет представление о физических моделях радиофизических процессов
 - аргументирует выбор метода решения задачи; составляет план решения задачи
 - графически иллюстрирует задачу
- **(умение)** самостоятельно подбирает и готовит для эксперимента необходимое оборудование
 - применяет методы решения задач в незнакомых ситуациях;
 - умеет корректно выражать и аргументированно обосновывать положения предметной области знания
- **(владение)** критически осмысливает полученные знания
 - способен корректно представить знания в математической форме
 - компетентен в различных ситуациях (работа в междисциплинарной команде)
 - владеет разными способами представления физической информации

3) Высокий уровень

- **(знание)** фактически и теоретически знает материал курса в пределах области исследования с пониманием границ применимости (знания глубокие, всесторонние)
- **(умение)** творчески подходит к решению физических задач (как теоретических, так и практических)
 - умеет абстрагировать проблемы, с которыми сталкивается при решении различных задач;
- **(владение)** может самостоятельно оценивать результаты своей работы;
 - способен совершенствовать действие работы, исходя из собственной оценки результатов
 - соблюдает нормы литературного языка, преобладает научный стиль изложения

9.2. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Критерии оценок знаний итогового контроля аспирантов

Оценка степени сформированности компетенций аспиранта по данному курсу основывается конкретностью и полнотой его ответов при выполнении заданий и упражнений итогового контроля знаний. Дополнительные вопросы и их число определяется необходимостью объективной оценкой уровня освоения аспирантом изучаемой дисциплины.

Оценка "ОТЛИЧНО" выставляется аспиранту, который глубоко усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно и логически его излагает, тесно увязывает теорию с практикой. При этом не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами в практических работах, показывает осведомленность в знании основной и дополнительной литературы, нормативных документов, грамотно обосновывает принятые решения. Оценка "ХОРОШО" выставляется аспиранту, который твердо знает программный материал, грамотно и по существу его излагает, не допуская существенных неточностей в ответах на вопросы, умело применяет теоретические положения при решении практических вопросов и заданий, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. Оценка "УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО" выставляется аспиранту, который освоил ключевые разделы основного материала, в пределах конспекта лекций, но не усвоил остальные разделы программы дисциплины, недостаточно ознакомился с основной и нормативной литературой по дисциплине, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения последовательности в изложении программного материала и ощущает затруднения в выполнении практических работ. Оценка "НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО" выставляется аспиранту, который не может ответить на ключевые вопросы программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями и ошибками выполняет практические задания.

Содержание кандидатского экзамена по специальности «радиофизика»

Экзаменационный билет состоит из четырех теоретических вопросов. Тематика первых трех вопросов представлена в данной программе. Четвертый вопрос экзаменационного билета формируется научным руководителем аспиранта в зависимости от выбранного направления научных исследований.

- 1) Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабонелинейные 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.
- 4) Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.
- 5) 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.

- 6) Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.
- 7) Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.
- 8) Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.
- 9) Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.
- 10) Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем.
- 11) Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.
- 12) Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы.
- 13) Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.
- 14) Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) Дисперсионные соотношения Крамерса—Кронига и принцип причинности.
- 18) 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.
- 19) Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.
- 20) Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.
- 21) Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.

- 22) Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.
- 23) Волны в нелинейных средах без дисперсии. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргерса для диссипативной среды и свойства его решений.
- 24) Генерация гармоник исходного монохроматического сигнала, эффекты нелинейного поглощения, насыщения и детектирования.
- 25) Уравнение Кортевега-де-Вриза и синус - Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах.
- 26) Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и генерация.
- 27) Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки.
- 28) Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность.
- 29) Измерение вероятностей и средних значений.
- 30) Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера—Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций.
- 31) Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.
- 32) Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина.
- 33) Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума).
- 34) Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера—Планка.
- 35) Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.
- 36) 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.
- 37) Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.
- 38) Взаимодействие случайных волн. Генерация второй оптической гармоники, самофокусировка и самомодуляция частично когерентных волн. Преобразование спектров шумовых волн в нелинейных средах без дисперсии.

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

40) Геометрооптическое 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.

41) Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в тропосферном радиоволноводе.

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

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

44) 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.

45) 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.

46) Основные задачи нелинейной фильтрации и синтеза систем.

47) Основные уравнения для потенциалов. Функция Грина для полусферы. Теорема взаимности. Область пространства, существенная при распространении. Поле вблизи плоской границы раздела. Приближенные граничные условия.

48) Формулы Френеля. Вертикальный диполь на плоской границе раздела. Постановка задачи. Вывод функции ослабления. Анализ функции ослабления.

49) Дифракция на сферической поверхности Земли. Решение задачи о дифракции по методу параболического уравнения. Анализ результатов.

50) Диэлектрическая постоянная и проводимость ионизованного газа. Приближение геометрической оптики. Строгие решения волнового уравнения для линейного и параболического слоя.

51) Отражение радиоволн от ионосферных слоев. Отражение от произвольного плавного слоя. Учет поглощения. Отражения от тонких слоев. Наклонное падение. Распространение радиоволн в неоднородной анизотропной ионосфере. Анализ формулы дисперсии.

52) Лучевые уравнения и методы их решения. Каустики. Лучи в плоскостойких средах. Волноводы и антиволноводы. Адиабатическое приближение для лучей в нерегулярном волноводе. Геометрическая оптика анизотропных сред. Границы применимости геометрической оптики.

53) Решение волнового уравнения для плоскостойкой среды и его асимптотический анализ. Вывод геометрооптического приближения и его обобщений. Поле на каустике.

54) Общие сведения о случайных полях. Метод малых возмущений. Средняя интенсивность однократно рассеянного поля. Эффективный поперечник рассеяния. Флуктуации лучей и группового запаздывания волны. Среднее поле и функция когерентности. Параболическое уравнение.

55) Метод фазового экрана. Сильные флуктуации интенсивности. Марковское приближение и уравнения для статистических моментов волнового поля.

56) Рассеяние на шероховатой поверхности. Рассеяние на малых неровностях. Метод возмущений. Рассеяние на крупномасштабных неровностях. Метод Кирхгофа.

57) Теория информации. Понятие информации. Энтропия и ее свойства. Теорема Шеннона.

58) Экономное и помехоустойчивое кодирование. Взаимная информация. Определение количества информации. Построение экономных и помехоустойчивых кодов, оценка их эффективности.

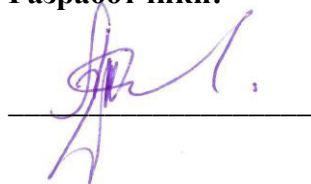
На кандидатском экзамене аспирант должен продемонстрировать высокий научный уровень и научные знания по дисциплине «Радиофизика».

ОБРАЗЕЦ БИЛЕТА ДЛЯ СДАЧИ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «ИГУ»**

**Специальность 1.3.4 Радиофизика
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1.**

1. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты
2. Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи в плоскостойких средах.
3. Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера—Планка.
4. Фокусировка радиоизлучений дискретных источников на крупномасштабных плазменных неоднородностях.

Разработчики:

профессор, д.ф.-м.н.
(занимаемая должность)

Н.Т. Афанасьев
(инициалы, фамилия)



профессор, д.ф.-м.н.
(занимаемая должность)

В.И. Сажин
(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры радиофизики и радиоэлектроники ИГУ
«8» апреля 2024 г.

Протокол № 8, и.о. зав.кафедрой  С.Н. Колесник

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.

**Лист согласования, дополнений и изменений
на 2025/2026 учебный год**

К рабочей программе дисциплины «Радиофизика» по научной специальности 1.3.4 Радиофизика

1. В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения:
Нет дополнений

2. В рабочую программу дисциплины вносятся следующие изменения:
Нет изменений

Изменения одобрены УМК факультета/института, протокол № 50 от 22 апреля 2025 г.

Зав. кафедрой _____



С.Н. Колесник