

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И. КАНТА  
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК И  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор института физико-  
математических наук и  
информационных технологий  
\_\_\_\_\_ А. В. Юров

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

**ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

по образовательной программе высшего образования - программе подготовки  
научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки **03.06.01 «Физика и астрономия»**

Направленность программы **«Радиофизика»**

Лист согласования

**Составители:** д.ф.-м.н., профессор института физико-математических наук и информационных технологий В. Е. Захаров; д.ф.-м.н., профессор института физико-математических наук и информационных технологий В. А. Пахотин.

Программа одобрена методическим советом института физико-математических наук и информационных технологий

Протокол № 1/19 от «09» января 2019 г.

Председатель учебно-методического совета \_\_\_\_\_ А.А. Шпилевой

Ведущий менеджер ООП \_\_\_\_\_ В. И. Бурмистров

Настоящая программа разработана для поступающих в аспирантуру на направление подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность программы «Радиофизика».

Программа вступительного испытания сформирована на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по программе магистратуры 03.04.03 «Радиофизика».

Целью вступительного испытания является оценка базовых знаний поступающих в аспирантуру с точки зрения их достаточности для проведения научно-исследовательской деятельности по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

Вступительное испытание по специальной дисциплине направленности программы «Радиофизика» направления подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» проводится на русском языке по билетам в письменной форме. Экзаменационный билет включает 2 вопроса из предлагаемого перечня.

## **Содержание программы**

### Раздел 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.

## Раздел 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.

### Раздел 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.

### Раздел 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. 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.

## Раздел 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.

## Раздел 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.

### Критерии оценки уровня знаний

Оценка знаний поступающего в аспирантуру производится по 100-балльной шкале.

**86-100 баллов** выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный и обоснованный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы экзаменационного билета правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике. Экзаменуемый показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание основного и дополнительного материала, усвоил рекомендованную литературу; может объяснить взаимосвязь основных понятий; проявляет творческие способности в понимании и изложении материала.

**66-85 баллов** выставляется поступающему в аспирантуру за правильные и достаточно полные ответы на вопросы экзаменационного билета, которые не содержат грубых ошибок и неточностей в трактовке основных понятий и категорий, но в процессе ответа возникли определенные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает достаточный уровень знаний в пределах основного материала; усвоил литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий при дополнительных вопросах экзаменатора. Допускает несущественные погрешности в ответах.

**50-65 баллов** выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и обоснованном ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных

затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает знания основного материала в минимальном объеме, знаком с литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные погрешности в ответах, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством экзаменатора.

**0-49 баллов** выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа на вопросы экзаменационного билета теоретических и практических знаний. Экзаменуемый показывает пробелы в знаниях основного материала, допускает принципиальные ошибки в ответах, не знаком с рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки самостоятельно.

### **Основная и дополнительная литература**

#### *Основная литература*

1. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 2006.
2. Захаров В.Е. Оптимальный прием и обработка сигналов: учеб. пособие. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2005. – 161 с.
3. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2001.
4. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: ВЦ, 2010.
5. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 2008.
6. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: Наука, 1990.

#### *Дополнительная литература*

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М.: Наука, 1981.
2. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. – М.: Наука, 1981.
3. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985.
4. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем. – М.: Радио и связь, 1974.
5. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974.
6. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. – М.: Мир, 1986.



7. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. – М.: Сов. радио, 1973.
8. Гауер Дж. Оптические системы связи. – М.: Радио и связь, 1989.
9. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. – М.: Наука, 1988.
10. Зверев В.А. Радиооптика. – М.: Сов. радио, 1975.
11. Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. – М.: Мир, 1990.
12. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. – М.: Наука, 1983.
13. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. – М.: Мир, 1981.
14. Ландау Л.В., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М.: Наука, 1999, т. V.
15. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989.
16. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. – М.: Наука, 1988.
17. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики. – М.: Наука, 1981.
18. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989.
19. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976.
20. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть 7. Случайные поля. – М.: Наука, 1978.
21. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991.
22. Фейнберг Е.Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. – М.: Наука, 1999.
23. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. – М.: Радио и связь, 1976.
24. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987.