

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ



УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ

/ В.В. Белокуров /

«21» *марта* 2024 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

1.3.4 Радиофизика

Шифр и наименование области науки

1. Естественные науки

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени

Физико-математические науки

Москва 2024

I. Описание программы

Программа-минимум кандидатского экзамена, разработана Физическим факультетом Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова на основе паспорта научной специальности, утвержденного Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 1.3.4. Радиофизика, в отрасли физико-математических наук.

II. Основные разделы и вопросы к экзамену

Тема 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 захватывания и гашения колебаний. Применение захватывания для стабилизации частоты.

Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Метод гармонического баланса. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве.

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.

Тема 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 фокуселинзы.

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.

Тема 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.

Тема 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. ТЕ-, ТН- и ТЕМ-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.

Тема 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.

Тема 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.

III. Критерии оценивания

Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене			
Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Фрагментарные знания в области радиофизики	Неполные знания в области радиофизики	Сформированные, но содержащие отдельные	Сформированные и систематические

		пробелы знания в области радиофизики	знания в области радиофизики
--	--	--------------------------------------	------------------------------

IV. Рекомендуемая основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том VIII. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматлит, 2016.
2. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. - М.: Физматлит, 2001.
3. Саввин В.Л. Генерация и усиление микроволн. М.: Физический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2015.
4. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. Линейные и нелинейные волны. М.: Ленанд, 2015.
5. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981.
6. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
7. Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. М.: Мир, 1990.
8. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Основы теории колебаний и волн. М.: Наука, 1987.
9. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики. М.: Наука, 1981.
10. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989.
11. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991.
12. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. М.: Радио и связь, 1976.
13. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987.

V. Рекомендуемая дополнительная литература

1. Муромцев Д.Ю., Зырянов Ю.Т., Федюнин П.А., Белоусов О.А. Электродинамика и распространение радиоволн. СПб.: Лань, 2014.
2. Потапов Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Юрайт, 2023.
3. Осипов О.В. Электродинамика и распространение радиоволн. Самара: ПГУТИ, 2021.
4. Калинин А.В. Основы теории распространения радиоволн. Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2022.
5. Шостак А.С. Техническая электродинамика, Основы электродинамики и распространение радиоволн, Антенны и устройства СВЧ. М.: ТУСУР, 2012.
6. Зельдович Я.Б. Теория ударных волн и введение в газодинамику. М.: Ленанд, 2014.

7. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. // Техническая электродинамика. М., Радио и связь, 2000.
8. Рыскин Н.М., Трубецков Д.И. Нелинейные волны. М.: Ленанд, 2017.
9. Саввин В.Л. Микроволновая электродинамика. М.: Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2014.
10. Саввин В.Л. Микроволны в линиях передачи. М.: Физический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2013.
11. Андронов А.А, Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981.
12. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988.
13. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974.
14. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1: Случайные процессы. М.: Наука, 1976.
15. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2: Случайные поля. М.: Наука, 1978.
16. Гауер Дж. Оптические системы связи. М.: Радио и связь, 1989.
17. Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д. Синтез излучающих систем. М.: Радио и связь, 1974.
18. Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985.
19. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. М.: Мир, 1981.
20. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: Сов. радио, 1973.
21. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. М.: Мир, 1986.
22. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1983.
23. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989.
24. Ландау Л. В., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Т. V, Ч. 1. М.: Физматлит, 2002.
25. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. М.: Наука, 1999.