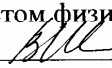


Министерство образования и науки РФ

Самарский государственный университет

Утверждено

Советом физического факультета



протокол № _____

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру по
специальной дисциплине специальности

01.04.03 – радиофизика

Программа одобрена на заседании
кафедры радиофизики и компьютерного
моделирования радиосистем
протокол № 11 от 26 июня 2009

Зав.кафедрой  Яровой Г.П.

Секретарь _____ Карбаева Е.В.

Самара - 2009

Часть I ОБЩАЯ ФИЗИКА

ВВЕДЕНИЕ

1. Предмет физики. Задачи и методы физики. Абстракции и модели. Положение физики в ряду других естественных наук.

МЕХАНИКА

2. Основные кинематические понятия. Система отсчета. Векторный способ описания движения материальной точки (положение, траектория, скорость, ускорение). Уравнения кинематики в прямоугольных и сферических координатах.

3. Законы динамики. Силы в механике. Инерциальные системы отсчета. Законы Ньютона. Уравнение движения системы частиц.

4. Закон сохранения энергии. Работа. Кинетическая энергия. Потенциальные силы. Потенциальная энергия. Полная энергия частиц и ее сохранение. Диссипация энергии.

5. Закон сохранения импульса. Центр масс системы частиц и закон его движения. Закон сохранения полного импульса системы частиц.

6. Закон сохранения момента импульса. Вектор момента импульса частицы. Закон сохранения момента импульса частицы. Закон сохранения полного момента импульса системы частиц.

7. Движение в поле центральных сил. Закон тяготения Ньютона. Законы Кеплера. Закон сохранения энергии частицы в поле тяготения. Закон сохранения момента импульса частицы в поле центральных сил.

8. Движение частицы в неинерциальной системе отсчета. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции. Уравнение движения частицы в неинерциальной системе отсчета. Теорема Кориолиса. Примеры движения тел вблизи поверхности Земли.

9. Кинематика абсолютно твердого тела. Центр масс. Углы Эйлера. Перемещение твердого тела в пространстве. Плоское движение твердого тела.

10. Динамика абсолютно твердого тела. Закон движения центра масс. Закон вращательного движения твердого тела. Момент сил. Момент количества движения твердого тела относительно оси вращения. Момент инерции твердого тела относительно оси. Закон сохранения энергии для движущегося твердого тела.

11. Классификация связей, налагаемых на механические системы. Действительные, возможные и виртуальные перемещения. Идеальные связи.

12. Основная задача динамики голономных систем. Уравнения Лагранжа с реакциями связи (1 рода).

13. Общее уравнение механики (принцип Даламбера-Лагранжа).

14. Независимые обобщенные координаты. Уравнение Лагранжа в независимых координатах (2 рода). Обобщенные силы. Функция Лагранжа.

15. Функция Гамильтона. Каноническое уравнение Гамильтона.

16. Функция действия. Уравнение Гамильтона-Якоби. Теорема Якоби (без доказательства) и основанный на ней метод решения задач о движении системы под действием обобщенно-потенциальных сил.

17. Принцип наименьшего действия Гамильтона-Остроградского. Вывод уравнений Лагранжа 2 рода из этого принципа.

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

18. Принцип относительности Галилея. Принцип относительности и преобразования Галилея. Инвариантность длины и интервала времени. Абсолютное пространство и время в механике Ньютона. Инвариантность уравнений динамики Ньютона.

19. Принцип относительности Галилея-Эйнштейна. Опыты Майкельсона, aberrация света. Постулат постоянства скорости света. Принцип относительности Галилея-Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Относительность длины, времени. Релятивистское сложение скоростей. Релятивистское уравнение динамики частицы. Изменение массы частицы со скоростью (продольные и поперечные массы). Энергия в теории относительности. Четырехмерное пространство-время. Запись уравнений Максвелла в релятивистски инвариантном виде.

ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

20. Эмпирическая температура. Равновесное состояние изолированной макроскопической системы. Квазистатические процессы. Тепловое равновесие систем и эмпирическая температура. Измерение температуры. Термометры.

21. Первое начало термодинамики. Закон сохранения энергии. Внутренняя энергия макроскопической системы, работа сил, теплота. Калорические и термические уравнения состояния.

22. Уравнения состояния. Уравнения состояния идеального газа, реального газа. Теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме. Уравнение адиабатического процесса в идеальном газе. Изотермы реального газа. Критические явления.

23. Второе начало термодинамики. Формулировка второго начала термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Цикл Карно. Теорема Карно. Энтропия. Неравенство Клаузиуса и поведение энтропии для неравновесных процессов. Статистический характер второго начала термодинамики. Формула Больцмана.

24. Третье начало термодинамики. Поведение энтропии вблизи абсолютного нуля. Недостижимость абсолютного нуля.

25. Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы: внутренняя энергия, термодинамический потенциал Гиббса, энтальпия. Явный вид термодинамических потенциалов для идеального газа.

26. Термодинамика систем с переменным числом частиц. Классификация макроскопических систем. Основное уравнение, характеристические функции (внутренняя энергия, термодинамический потенциал Гиббса). Химический

потенциал для идеального газа.

27. Равновесное состояние. Условия термодинамического равновесия. Условия равновесия гетерогенной системы. Правило фаз Гиббса. Равновесие фаз в однокомпонентной системе,

28. Устойчивость состояния. Общие условия устойчивости. Конденсация пара в жидкость. Принцип Шателье-Брауна.

29. Фазовые превращения. Постановка задачи и классификация фазовых переходов. Фазовые переходы 1 рода. Фазовые переходы 2 рода.

30. Аксиоматическая формулировка уравнений неравновесной термодинамики. Постановка задачи. Закон сохранения массы. Скорость изменения удельного объема. Закон сохранения энергии. Второй закон термодинамики для необратимых процессов. Принцип локального равновесия. Уравнение баланса энтропии. Линейные феноменологические уравнения и принцип Кюри. Соотношения взаимности Онсагера. Дифференциальные уравнения движения сплошной среды.

31. Каноническое распределение Гиббса. Формулировка задачи. Условие равновесия и функция распределения. Вывод распределения Гиббса. Первое начало термодинамики. Определение энтропии и основное уравнение термодинамики. Статистическая сумма и свободная энергия. Энтропия. Флуктуация энергии.

32. Большое каноническое распределение Гиббса. Формулировка задачи. Условие равновесия и функция распределения большого канонического ансамбля. Вывод большого канонического распределения Гиббса. Макроскопические параметры. Основное уравнение термодинамики. Обобщенный термодинамический потенциал Гиббса. Флуктуации в большом каноническом ансамбле.

33. Идеальный газ. Формулировка задачи. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Свободная энергия идеального газа. Макроскопические параметры идеального газа.

34. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Теплоемкость твердых тел. Электронная теория твердых тел. Равновесное излучение абсолютно черного тела (ультрафиолетовая катастрофа).

35. Матрица плотности. Исходные физические посыпки. Смешанный ансамбль. Матрица плотности (координатное и энергетическое представление). Квантовое уравнение Лиувилля. Статистический оператор и его свойства.

36. Матрица плотности для равновесного состояния системы. Нулевое начало термодинамики и матрица плотности в состоянии равновесия. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение. Большое каноническое распределение. Третье начало термодинамики.

37. Формулировка задач квантовой статистической физики для идеального газа. Вероятность чисел заполнения. Статистики Бозе и Ферми.

38. Идеальный Ферми-газ. Среднее чисел заполнения. Вырождение электронного газа в металле. Температура вырождения. Теплоемкость электронного

газа в металле.

39. Идеальный Бозе-газ. Равновесное излучение. Фотоны. Формулировка Планка. Фононы. Теплоемкость твердого тела.

40. Неравновесные процессы в газе. Закон теплопроводности и уравнение теплопроводности. Закон диффузии и коэффициент диффузии. Вязкость и коэффициент вязкости.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

41. Закон взаимодействия точечных электрических зарядов. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции. Силовые линии. Поток напряженности поля. Теорема Остроградского-Гаусса. Работа сил электрического поля. Потенциальное поле. Разность потенциалов, потенциал. Эквипотенциальная поверхность. Связь между напряженностью поля и потенциалом.

42. Проводники в электрическом поле. Емкость. Конденсаторы. Энергия систем электрических зарядов. Энергия электрического поля. Теорема Ирншоу. Четвертое уравнение Максвелла. Уравнение Пуассона и Лапласа.

43. Диэлектрики в электрическом поле. Электрический момент системы зарядов. Классификация диэлектриков. Вектор поляризации. Объемные и поверхностные связанные заряды. Вектор электрической индукции. Теорема Остроградского-Гаусса для диэлектриков. Система уравнений для электрического поля в диэлектриках. Граничные условия для вектора индукции.

Расчет ориентационной поляризации. Функция Ланжевена. Связь диэлектрической проницаемости с поляризуемостью молекул. Формула Клаузиуса-Мосотти. Молярная поляризуемость вещества. Поляризационная катастрофа.

44. Постоянный электрический ток, Закон Ома в интегральной форме. Вектор плотности тока. Закон Ома в дифференциальной форме. Электродвижущая сила в цепи. Обобщенный закон Ома. Закон сохранения заряда. Условие стационарности тока. Закон Джоуля-Ленца. Проводимость металлов с точки зрения классической электронной теории. Зонная теория проводимости твердых тел. Проводники, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Электрический ток в электролитах, газах. Термоэлектронная эмиссия.

45. Стационарное магнитное поле. Взаимодействие токов. Закон Ампера. Напряженность магнитного поля. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции магнитного поля. Векторный потенциал. Калибровка Кулона. Сила Лоренца. Гальваномагнитные эффекты.

46. Магнетики. Гипотеза Ампера. Магнитный момент и вектор намагниченности. Типы магнетиков. Объяснение диамагнитных и парамагнитных свойств вещества на основе микроскопических моделей.

Спин и магнетизм. Расчет магнитной восприимчивости парамагнитного газа. Квантовая функция Ланжевена.

Восприимчивость диамагнитного газа. Температурно-независимый парамагнетизм молекул (теория Ван-Фика).

47. Ферромагнетики. Точка Кюри. Закон Кюри-Вейсса. Теория сильного внутреннего поля Вейсса.

Спиновая природа ферромагнетизма. Опыт Эйнштейна-ДеГааза. Вектор магнитной индукции. Первое уравнение Максвелла для стационарного магнитного поля и энергия тока.

48. Электромагнитное поле. Относительность электрических и магнитных полей. Первое уравнение Максвелла, ток смещения. Закон электромагнитной индукции. ЭДС индукции. Закон Лоренца. Второе уравнение Максвелла.

Система уравнений Максвелла. Материальные уравнения.

Потенциалы электрического поля и уравнения Максвелла. Градиентная инвариантность, калибровка Лоренца. Уравнение Даламбера. Решение волнового уравнения. Запаздывающие потенциалы. Конечность скорости распространения электромагнитной волны.

Энергия и импульс электромагнитной волны.

49. Излучение электромагнитных волн. Излучение ускоренно движущегося заряда. Излучение колеблющегося заряда. Вибратор Герца.

50. Сверхпроводимость. Свойства сверхпроводников. Аналогия со сверхтекучестью. Критерий Ландау. Микроскопическая теория сверхпроводимости. Куперовские пары. Сверхтекучий конденсат. Теория Гинзбурга-Ландау. Плотность сверхпроводящего тока. Скачок теплоемкости в точке сверхпроводящего перехода. Диамагнетизм сверхпроводников. Эффект Мейсснера-Оксенфельда. Критическое магнитное поле. Глубина проникновения магнитного поля. Сверхпроводники 1 и 2 рода. Вихревые нити. Квантование потока магнитного поля.

ОПТИКА

51. Электромагнитная природа света. Модель и структура плоской гармонической волны. Свойство поперечности, энергия и интенсивность световых волн.

52. Прохождение света через плоскую границу изотропных диэлектриков. Граничные условия. Соотношение амплитуд падающей, отраженной и прошедшей волн (формулы Френеля). Соотношение фаз.

53. Интерференция света. Понятие о когерентности. Двухлучевая интерференция: общая принципиальная схема, условия максимума и минимума интерференции. Локализация интерференционной картины. Интерферометры.

54. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля. Дифракция Фраунгофера. Амплитудная дифракционная решетка, распределение интенсивности. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Фазовые решетки. Понятие о голографии.

55. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Виды поляризации. Прохождение света через анизотропные среды. Фазовая и лучевая скорости. Двойное лучепреломление в кристаллах.

56. Дисперсия света. Основы электронной теории дисперсии. Нормальная и аномальная дисперсия. Поглощение света.

57. Генерация света. Основы классической и квантовой теории излучения абсолютно черного тела. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Оптические усилители. Принцип работы лазера.

58. Геометрическая оптика. Геометрическая оптика как предельный случай волновой оптики при $\lambda \rightarrow 0$. Понятие светового луча. Принцип Ферми. Законы отражения сферической поверхности. Фокусы сферической поверхности. Тонкие и толстые линзы. Пределы применимости законов геометрической оптики.

АТОМНАЯ ФИЗИКА И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

59. Открытие электрона. опыты Милликена. Уравнения движения электрона в электромагнитном поле. Экспериментальное определение удельного заряда электрона.

60. Массы атомов. Движение ионов атомов в электронном поле. Масс-спектрометры и масс-спектрографы. Изотопы.

61. Излучение абсолютно черного тела. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Вина. Формула Релея-Джинса. Гипотеза Планка. Формула Планка.

62. Фотоны. Фотоэффект. Гипотеза Эйнштейна. Эффект Комптона.

63. Ядерная модель атомов. опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц фольгами. Ядерно-планетарная модель атома. Невозможность объяснения с помощью классической физики устойчивости атомных систем и опытных закономерностей в атомных спектрах.

64. Квантовая теория Бора. Постулаты Бора. Квантование орбит. Пространственное квантование. Магнитный момент атома. Магнетон Бора.

65. Спин электрона. опыт Штерна и Герлаха. Гипотеза о спине электрона.

66. Многоэлектронные атомы. Квантовое состояние электрона в атоме (по Бору). Спектральные термы. Принцип Паули. Периодическая система элементов Менделеева. Закон Мозели.

67. Физические принципы квантовой механики. Волны де Бройля. Экспериментальное наблюдение корпускулярно-волновой природы электронов и других частиц. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Принцип дополнительности Бора. Уравнение Шредингера.

68. Математические основы квантовой теории. Вектора состояния, принцип суперпозиции, линейное векторное пространство. Наблюдаемые физические величины и линейные эрмитовы операторы. Основные свойства собственных функций и собственных значений. Эволюция квантовых систем по Гейзенбергу и Шредингеру. Теория представления векторов и операторов.

69. Момент количества движения. Определение операторов момента количества движения и их свойства. Собственные значения и собственные функции операторов момента количества движения.

70. Спин электрона. Спиноры. Матрицы Паули. Уравнение Паули. Простой эффект Зеемана.

71. Системы тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Оператор перестановки частиц и его свойства. Бозоны, фермионы, структура их волновых функций.

72. Движение частиц в потенциальном поле. Туннельный эффект, холодная эмиссия электронов из металла. Частица в одномерной и трехмерной потенциальных ямах. Квазиклассическое приближение для волновой функции частицы. Гармонический осциллятор в координатном представлении и представлении чисел заполнения.

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

73. Состав ядра. Протоны, нейтроны, заряд, масса, изотопы. Энергия связи и дефект масс. Ядерные силы. Спин и магнитный момент ядра. Размеры и форма ядер. Четность ядер.

74. Составные части ядер. Протон. Нейтрон. Нуклон-нуклонное рассеяние при высоких и низких энергиях. Свойства ядерных сил. Изотопическая инвариантность.

75. Реакции деления ядер. Деление тяжелых ядер. При взаимодействии с нейтроном. Коллективная модель ядра. Выделение энергии при распаде ядер. Цепные реакции.

76. Реакции слияния ядер. Условия образования ядер при слиянии легких элементов. Выделение энергии. Проблемы термоядерного синтеза. Трансурановые элементы.

77. Естественная радиоактивность атомных ядер, α -распад, β -распад. Непрерывный спектр распада. Нейтрино, γ -излучение ядер. Эффект Мессбауэра.

Часть II

РАДИОФИЗИКА

ВВЕДЕНИЕ

В основу второй части программы вступительных экзаменов в аспирантуру по специальности 01.04.03 - радиофизика положены следующие радиофизические дисциплины, читаемые на физических и радиофизических факультетах университетов: "Теория колебаний", "Теория волн", "Электродинамика СВЧ", "Статистическая радиофизика", "Квантовая радиофизика". Соответственно, программа состоит из четырех разделов, под

аналогичными заголовками.

ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ

1. Линейные и нелинейные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабонелинейные системы.
2. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Отрицательное сопротивление. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.
3. Неавтономные режимы автоколебательных систем. Асинхронное воздействие. Синхронизация автоколебаний.
4. Методы теории нелинейных колебаний. Анализ движения на фазовой плоскости. Метод возмущений. Метод Крылова-Боголюбова. Укороченные уравнения.
5. Автоколебательные системы с двумя степенями свободы. Явление затягивания. Применение затягивания для стабилизации частоты. Взаимная синхронизация колебаний двух автогенераторов.
6. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты. Энергетические соотношения Мэнли-Роу.
7. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Представление колебаний в форме ряда по собственным колебаниям и в форме волн, бегущих и отраженных от границ системы.
8. Лазер как пример распределенной автоколебательной системы. Условия самовозбуждения. Одночастотный режим генерации. Многомодовые колебания в лазере.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОФИЗИКА

9. Основные понятия теории случайных процессов. Стационарные и нестационарные процессы и способы их описания.
10. Спектрально-корреляционная теория стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Спектральная плотность мощности и ее преобразования линейными системами.
11. Марковские процессы. Уравнение Фоккера-Планка. Понятие "белого" шума. Замена реального случайного процесса марковским процессом.
12. Статистические характеристики огибающей и фазы узкополосного нормального случайного процесса. Плотности вероятности огибающей и фазы узкополосного случайного процесса.
13. Безынерционные нелинейные преобразования случайных процессов.
14. Шумы в автогенераторах. Распределение амплитуды автоколебаний. Форма и ширина спектральной линии.
15. Пуассоновский случайный процесс. Дробовой шум. Формула Шоттки. Случайные последовательности импульсов и их спектральная плотность. Тепловой шум. Классический и квантовый варианты формулы Найквиста.
16. Случайные поля. Однородные и изотропные поля скалярных и векторных величин. Их корреляционные функции и спектры. Тепловые флуктуации в электродинамике.

ТЕОРИЯ ВОЛН И ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СВЧ

17. Распространение плоских волн в материальных средах при учете временной и пространственной дисперсии. Общий вид дисперсионного уравнения.
18. Ограниченные пучки и импульсы в линейной среде. Представление волновых пучков в виде плоских волн. Дифракционное расплывание пучка. Параболическое уравнение. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
19. Эволюция волнового пакета в диспергирующей среде. Фурье-оптика.
20. Распространение волн в нелинейных средах бездисперсии. Образование ударной волны.
21. Нелинейные эффекты при распространении электромагнитных волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Фазовый синхронизм. Метод медленно меняющихся амплитуд для решения нелинейных волновых задач. Самофокусировка волновых пучков в нелинейных средах.
22. Общие закономерности распространения волн в анизотропных средах. Свойства тензора диэлектрической проницаемости. Нормальные волны в кристаллах и магнитоактивных средах.
23. Особенности распространения радиоволн в атмосферах Земли и планет, в космической плазме. Рассеяние и рефракция на неоднородностях плазмы, дисперсия радиоволн, Фарадеевское вращение вектора поляризации.
24. Электромагнитные волны в волноводах и периодических структурах. Волновод СВЧ диапазона. Диэлектрические волноводы и световоды. Принципы построения антенн.

КВАНТОВАЯ РАДИОФИЗИКА

25. Взаимодействие электромагнитного поля и вещества в дипольном приближении. Линейные и нелинейные тензоры диэлектрической восприимчивости. Флуктуационно-диссипативная теорема.
26. Полуклассическая теория излучения. Спонтанные и индуцированные переходы. Когерентное взаимодействие двухуровневой системы с излучением. Фотонное эхо, самоиндуцированная прозрачность.
27. Форма и интенсивность спектральной линии в атомных и молекулярных газах, электронные, колебательные и вращательные переходы. Однородное и неоднородное уширение спектральной линии. Естественная ширина, столкновительное и доплеровское уширение. Уширение спектральной линии активных центров в кристаллах. Оптические переходы в полупроводниках. Принципы работы приборов квантовой электроники. Методы создания инверсии населенности и отрицательного поглощения.
28. Молекулярный генератор. Уравнение для поля в квантовом генераторе. СВЧ резонатор. Одномодовый режим. Квантовые стандарты частоты.
29. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Продольные и поперечный типы колебаний, спектр частот и расходимость излучения. Добротность резонатора.
30. Устройство и параметры лазеров: 1) трехуровневая система на рубине; 2) четырехуровневая система на неодимовом стекле; 3) лазеры на растворах

красителей; 4) на атомных и молекулярных газах; 5) полупроводниковые лазеры.

31. Режимы работы лазеров. Непрерывный режим генерации. Режим модуляции добротности резонатора. Синхронизация мод. Сверхкороткие импульсы. Методы стабилизации - частоты лазеров.

32. Методологическое значение радиофизики в развитии естественных наук.

Основная литература

1. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. М.:Лань, 2009. 336 с.
2. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М. ОНИКС, 2009. 360 с.
3. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М. Высш. школа, 1983. 463с.
4. Матвеев А.Н. Оптика. М. Высш. шк., 1985. 351 с.
5. Матвеев А.Н. Атомная физика. М. Высш. школа, 1989. 439с.
6. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
7. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. 3-е изд. М.: Наука, 2000. 560 с.
8. Г.С.Горелик Г.С. Колебания и волны. 3-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 656 с.
9. Неганов В.А., Осипов О.В., Раевский С.Б., Яровой Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. 4-е изд. М.: Радиотехника, 2009. 744 с.
10. Стратонович Р.Л. Случайные процессы в динамических системах. М.–Ижевск: РХД, 2009. 592 с.
11. Штыков В.В. Квантовая радиофизика. М.: Академия, 2009. 336 с.

Дополнительная литература

1. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 292 с.
2. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн. М.: Радиотехника, 2009. 720 с.
3. Андронов А.А, Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981.
4. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
5. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974.
6. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1: Случайные процессы. М.: Наука, 1976.
7. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2: Случайные поля. М.: Наука, 1978.
8. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981.
9. Пантелл Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. М.: Мир, 1972. 384 с.
10. Звелто О. Принципы лазеров. 3-е изд. М.: Мир, 1990. 558 с.
11. Ханин Основы динамики лазеров. М.: Наука. ФИЗМАТЛИТ, 1999. 386 с.