

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ ИМ. В.А.КОТЕЛЬНИКОВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)

УТВЕРЖДАЮ  
ИО Директора  
С.А.Никитов  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014г.

**ПРОГРАММА**

вступительных испытаний поступающих на обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальной дисциплине

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ: 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ**  
**НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.03 – Радиофизика**

Форма проведения вступительных испытаний.

Вступительные испытания проводятся в устной форме. Для подготовки ответов поступающий использует экзаменационные листы.

ЗАВ.ОАДС \_\_\_\_\_  
(подпись)

д.ф.-м.н. Кузнецова И.Е.  
(фамилия)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 года.

## **Часть 1. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

1. Общие положения теории электромагнитного поля  
Основные законы электродинамики. Уравнения электромагнитного поля в комплексной форме. Сторонние токи. Граничные условия.
2. Волны в средах  
Плоские волны в однородной изотропной среде. Волновой вектор и постоянная затухания в средах и их связь с диэлектрической и магнитной проницаемостью среды. Отражение плоской волны от плоской границы раздела. Распространение плоских волн в неоднородных средах. Сферические и цилиндрические волны.
3. Потенциалы электромагнитного поля  
Векторные и скалярные потенциалы. Векторы Герца. Волновые уравнения.
4. Волноводы  
Особенности электромагнитных волн в волноводах. ТЕМ волны, магнитные и электрические волны в волноводах. Системы волн в прямоугольном волноводе. Системы волн в круглом волноводе.
5. Скорости распространения электромагнитных волн в средах и волноведущих системах  
Фазовая и групповая скорости распространения сигналов в средах и передающих линиях с потерями. Скорости волн в волноводе.
6. Дифракция электромагнитных волн  
Принцип Гюйгенса для электромагнитного поля. Дифракция на щели. Дифракция на прямоугольном отверстии и отверстии произвольной формы.
7. Антенны различных диапазонов волн  
Основные параметры антенных устройств. Слабонаправленные антенны. Дипольные и рамочные антенны. Апертурные антенны (зеркальные, линзовые). Антенные решётки. Антенны бегущей волны (рупорные, диэлектрические, волновой канал). Широкополосные и сверхширокополосные антенны (биконическая, спиральная логопериодическая структуры).

## **Часть 2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН**

8. Распространение поверхностных радиоволн  
Распространение излучаемых антенной радиоволн над плоской проводящей поверхностью земли. Вывод формулы Шулейкина-ван-дер-Поля. Скорость распространения поверхностных радиоволн. Распространение поверхностных радиоволн вокруг сферической поверхности Земли (дифракция радиоволн).
9. Ионосфера Земли  
Состав и строение атмосферы. Механизм ионизации. Источники ионизации. Образование ионизированной области (ионосферы).
10. Распространение радиоволн в однородной ионосфере  
Фазовая и групповая скорости распространения радиоволн в ионосфере. Распространение радиоволн в однородной ионосфере при учете столкновений электронов с нейтральными молекулами и ионами. Распространение радиоволн в однородном ионизованном газе при наличии постоянного магнитного поля. Преломление и отражение радиоволн в неоднородной ионосфере.
10. Распространение длинных, средних и коротких волн  
Физические явления при распространении длинных (ДВ) и средних (СВ) радиоволн. Особенности их распространения. Физические явления при распространении коротких волн (КВ). Замирания в КВ диапазоне.
11. Основы расчета коротковолновых линий радиосвязи  
Определение максимально применимых частот (МПЧ) с учетом 11-тилетнего цикла солнечной активности, а так же суточных, сезонных вариаций высотного распределения концентрации электронов в ионосфере. Теорема эквивалентности. Определение МПЧ по закону секанса.
12. Распространение ультракоротких волн  
Влияние ионосферы на условия распространения УКВ. Классификация возможных случаев распространения УКВ. Распространение на небольшие расстояния, когда поверхность Земли можно считать плоской. Распространение над сферической Землей в пределах прямой видимости. Влияние метеорологических условий в нижних слоях атмосферы на условия распространения УКВ.

13. Распространение радиоволн в космических условиях  
Распространение электромагнитных волн при радиосвязи с космическими аппаратами (КА).  
Спутниковые системы связи. Связь через геостационарные КА.

### ***Часть 3. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ)***

14. Методы СВЧ радиометрических и радиолокационных измерений  
Основные законы теплового излучения. Яркостная температура. Сечение рассеяния. Уравнение переноса излучения. Основное уравнение радиолокации. Эффективная площадь обратного радиолокационного рассеяния (ЭПР).

Общая схема СВЧ радиометрических измерений. Наземные самолетные и космические платформы. Рупорные и зеркальные антенны: к.п.д., рассеяние, пространственная разрешающая способность. Связь между антенной и яркостной температурами.

15. Особенности приема шумовых сигналов. Пассивная радиометрия  
Шумовая температура. СВЧ радиометры: компенсационный и модуляционный. Чувствительность, стабильность коэффициента усиления, полоса принимаемых частот и др. характеристики СВЧ радиометров. Пути повышения чувствительности радиометров. Малошумящие усилители. Генераторы шума. Внутренняя и внешняя калибровка. Использование внеземных источников радиоизлучения для калибровки СВЧ радиометров.

16. Радиолокационные системы в дистанционном зондировании поверхности Земли и планет  
Радиолокатор бокового обзора реальной (РЛСБО) и синтезированной (РСА) апертурами, скаттерометр, радиовысотометр (альтиметр). Основные характеристики приборов активного зондирования: пространственная разрешающая способность, полоса обзора, чувствительность к изменению ЭПР. Калибровка РЛС. Поверхностное и подповерхностное зондирование.

17. Ослабление радиоволн в атмосфере и ее тепловое излучение  
Земная атмосфера как среда излучения. Строение атмосферы, газовый состав, высотные профили метеозлементов. Локальное термодинамическое равновесие. Яркостная температура нисходящего излучения атмосферы и уходящего излучения системы “атмосфера — подстилающая поверхность”.

18. Молекулярное поглощение радиоволн в атмосфере  
Резонансные линии поглощения в кислороде и в водяном паре в миллиметровом и сантиметровом диапазонах длин волн. Интенсивность, форма и ширина спектральных линий. Зависимость коэффициентов атмосферного поглощения от температуры и давления; сравнение теории и эксперимента. Высотная зависимость молекулярного поглощения. Поглощение вблизи резонансных линий малых газовых составляющих. Зависимость яркостной температуры безоблачной атмосферы от зенитного угла и влажности.

19. Активные и пассивные методы исследования метеообразований  
Диэлектрические свойства воды в СВЧ диапазоне, формула Дебая. Основные сведения о физике облаков. Релеевское рассеяние. Коэффициент поглощения в мелкокапельном изотермическом облаке и его зависимость от длины волны и температуры. Ослабление и рассеяние крупными каплями облаков и дождей. Формулы Ми. Поглощение и обратное рассеяние радиоволн в реальных облаках и дождях. Поляризационный эффект ослабления в дожде. Уравнение переноса излучения в атмосфере при наличии осадков. Яркостная температура облачной атмосферы и ее зависимость от полной массы водяного пара, содержания воды в облаках и интенсивности осадков.

20. Радиоизлучение и рассеяние морской поверхности и акваторий  
Гладкие поверхности. Формулы Френеля для коэффициента отражения. Диэлектрическая проницаемость морской воды. Частотная, поляризационная и угловая зависимости излучательной способности спокойной водной поверхности.

Радиоизлучение морской поверхности в условиях волнения и пенных образований. Крупномасштабное волнение, критерий Релея. Метод Кирхгофа (метод касательной плоскости). Влияние крупных волн на излучательную способность моря для вертикальной и горизонтальной поляризаций. Частотная зависимость радиоизлучения морской пены.

Рассеяние на морской ряби, условие Брэгга. Угловая зависимость обратного радиолокационного отражения морской поверхности.

21. Радиоизлучение и рассеяние земных покровов

Типы земных покровов и их диэлектрические проницаемости. Радиационные модели однородных и неоднородных сред. Излучательные свойства неизотермических и слоистых сред.

Ослабление электромагнитных волн в растительных и почвенных покровах. Радиояркостная температура открытых почво-грунтов и почв с растительностью; связь их излучательной способности с влажностью почвы, биомассой растительности и др. параметрами. Радиолокационная отражаемость почв и растительности.

Особенности радиоизлучения и радиолокационного отражения морского и континентального льдов. Зависимость характеристик излучения и обратного рассеяния снежного покрова от его температуры, влажности, водного эквивалента и др. геофизических параметров.

22. Модели радиояркостной температуры системы “атмосфера — подстилающая поверхность”

Вклад атмосферы. Радиояркостные контрасты облаков и дождей при наблюдении с летательного аппарата. Влияние волнения и неоднородностей атмосферы на яркостную температуру системы “атмосфера — поверхность океана”.

23. Обратные задачи дистанционного зондирования природной среды

Классификация обратных задач. Детерминированный и статистический подходы к их решению.

Обратные задачи СВЧ радиометрии в общем виде, некорректность их постановки в математическом смысле. Метод статистической регуляризации.

24. Определение интегральных параметров атмосферы, морской поверхности и земных покровов

Определение полной массы водяного пара, водозапаса облаков, температуры срединного слоя облака. Выбор длин волн. Методические и инструментальные ошибки. Самолетные и спутниковые эксперименты.

Определение температуры морской поверхности и скорости приводного ветра по спектральным и поляризационным характеристикам радиоизлучения. Возможности определения влажности почв, характеристик растительного, ледяного и снежного покровов.

#### ***Часть 4. ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС В ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ***

25. Детерминированный хаос. Одномерные и двумерные отображения

Историческая справка. Дифференциальные уравнения и отображения. Как возникает хаос? Характеристики хаотического движения.

*Одномерные отображения.* Отображение сдвига Бернулли. Тент отображение. Логистическая парабола. Эволюция динамики отображения при изменении параметра. Бифуркационные явления. Переходы к хаосу. Теорема Шарковского. Динамика кусочно-линейного отображения отрезка в себя. Структура циклов кусочно-линейного отображения.

*Двумерные отображения.* Отображение пекаря. Подкова Смейла. Отображение Хенона. Механизмы возникновения хаоса. Типичные бифуркации. Фрактальная структура хаотических аттракторов. Квадратичное отображение в комплексной плоскости. Множества Мандельброта и Жулия.

26. Странные аттракторы и фракталы

Масштабная инвариантность. Примеры простейших фракталов: канторовское множество, самоподобие снежинки, ковры Серпинского, Кривая Гильберта. Случайные фракталы. Размерность для фракталов. Фрактальность странных аттракторов и бассейнов их притяжения. Фрактальная размерность странных аттракторов.

27. Хаотическая синхронизация. Методы исследования систем с хаосом

Обобщение понятия классической синхронизации на хаотические системы. Синхронизация хаотической системы внешним периодическим сигналом. Взаимная синхронизация двух связанных хаотических систем. Синхронный хаотический отклик. Хаотическая синхронизация в цепочках и решетках отображений. Слабая и сильная хаотическая синхронизация. Обобщенная хаотическая синхронизация.

28. Обнаружение хаотических колебаний в изучаемой системе

Определение критических значений бифуркационных параметров и построение бифуркационных диаграмм. Выделение различных хаотических режимов. Идентификация качественных характеристик хаотического аттрактора. Количественные характеристики странных аттракторов. Спектр мощности. Показатели Ляпунова. Инвариантная мера. Корреляционная размерность.

29. Анализ временных рядов методами нелинейной динамики

Реконструкция странных аттракторов по наблюдаемым временным рядам. Теорема Такенса. Очистка хаотических сигналов от шума. Прогнозирование поведения временных рядов методами нелинейной динамики.

### 30. Динамический хаос и случайные процессы

Шумы: белый, розовый, коричневый и черный. Броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Броуновское движение как случайный фрактал. Шумы в радиофизических системах. Дробовой шум. Автокорреляционная функция и спектральная плотность. Тепловой шум и теорема Найквиста. Фрактальная размерность случайных процессов. Марковские процессы. Воздействие шумов на системы с хаосом. Естественные процессы: динамический хаос плюс шум.

### 31. Динамический хаос и информационные процессы

Динамический хаос как информационный процесс. Применение методов нелинейной динамики для обработки сигналов. Передача аналоговой и цифровой информации на основе систем со сложной динамикой. Формирование хаотических сигналов с заданной структурой. Прием и анализ хаотических сигналов. Прохождение информационных хаотических сигналов по каналу связи.

## *Рекомендуемая литература*

1. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М. «Радио и связь», М. 1988 г.
2. Каценеленбаум Б.З. Высокочастотная электродинамика. М. «Наука», 1966 г.
3. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн, «Наука», М. 1989 г.
4. Пименов Ю.В. Линейная макроскопическая электродинамика. Вводный курс для радиофизиков и инженеров, М., «Интеллект», 2008 г.
5. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ, 2 ч., М., «Связь», 1977 г.
6. Воскресенский Д.И. и др. Антенны и устройства СВЧ, М., Изд. МАИ, 1999 г.
7. М.П. Долуханов. Распространение радиоволн. 4-е изд. – М.: Связь, 1972. – 400 с.
8. Я.Л. Альперт, В.Л. Гинзбург, Е.Л.Фейнберг. Распространение радиоволн. – М.: Гостехиздат, 1953
9. В.Л. Кессених. Распространение радиоволн. – М.: ГИТТЛ, 1952. – 488 с.
10. А.А. Колосов, Н.А. Арманд, О.И. Яковлев. Распространение радиоволн при космической радиосвязи
11. Спутниковая связь и вещание: Справочник. – 2-е изд., под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1988. – 344 с.
12. О.И. Яковлев, В.П. Якубов, В.П. Урядов, А.Г. Павельев. Распространение радиоволн: Уч. пособие / Под ред. О.И. Яковлева. Изд. 2-е. – М.: ЛЕНАРД, 2012. – 496 с.
13. Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Е. Радиоизлучение Земли как планеты. М., Наука, 1974, 188 с.
14. Ulaby F.T., Moore R.K., Fung A.K. Microwave remote sensing. Addison-Wesley P.C., vol.1, 1981, vol.2, 1982, vol.3, 1986
15. Кузьмин А.Д., Саломонович А.Е. Радиоастрономические методы измерений параметров антенн. М., Советское радио, 1964, 184 с.
16. Armand N.A., Polyakov V.M. Propagation and remote sensing of the environment. CRC Press, 2005, 440 pp
17. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1969, 647 с.
18. Мейсон Б. Физика облаков. Л., Гидрометеиздат, 1961, 542 с.
19. Таунс С., Шавлов А. Радиоспектроскопия. М., Изд. ин. лит., 1959, 536 с.
20. Розенберг В.И. Рассеяние и ослабление электромагнитного излучения атмосферными частицами. Л., Гидрометеиздат, 1972, 348 с.
21. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. М., Изд. ин. лит., 1961, 336 с.
22. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Изд. Иностран. лит., 1981.
23. Степаненко В.Д., Шукин Г.Г. и др. Радиотеплолокация в метеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1987, 283 с.
24. Странные аттракторы. Сб. статей. Пер. с англ. под ред. Синая Я.Г., Шильникова Л.П. М., Мир, 1981.
25. Рабинович М.И., Трубецков В.И. Введение в теорию колебаний и волн. М., Наука, 1984.
26. Шустер Г. Детерминированный хаос. М., Мир, 1988.