

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Таюрский Д.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Распространение электромагнитных волн Б1.Б.28

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Специальные радиотехнические системы

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Колчев А.А.

**Рецензент(ы):**

Акчурин А.Д.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Акчурин А. Д.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2018

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Колчев А.А. Кафедра радиоастрономии Отделение радиофизики и информационных систем, AAKolchev@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Изучение и практическое применение методов построения высоко эффективных антенно-фидерных систем. Приведены определения основных радиотехнических характеристик антенн, описание конструкций различного типа, используемых в радиосвязи, радиолокации и радиоастрономии.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.Б.28 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.03 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 3 курсе, 6 семестр.

Для освоения содержания дисциплины необходимы знания по следующим курсам: "Электродинамика", "Основы теории колебаний".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-10 (общекультурные компетенции)	способностью самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии
ОК-11 (общекультурные компетенции)	способностью собирать, обобщать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий информацию, необходимую для формирования суждений по соответствующим специальным, научным, социальным и этическим проблемам
ОК-12 (общекультурные компетенции)	способностью к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью применять на практике базовые профессиональные навыки
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

знать физическую сущность процессов и явлений, происходящих при распространении волн в однородных и неоднородных средах;

2. должен уметь:

уметь самостоятельно использовать основные методы радиофизических измерений.

3. должен владеть:

владеть методами проведения аналитических и численных расчетов;

4. должен демонстрировать способность и готовность:

демонстрировать способность и готовность проведения аналитических и численных расчетов;

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 6 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Излучение электромагнитных волн.	6	1	2	0	0	
2.	Тема 2. Распространение электромагнитных волн.	6	2	2	0	0	
3.	Тема 3. Векторный и скалярный потенциалы электромагнитного поля.	6	3	2	0	0	
4.	Тема 4. Элементарный вibrator.	6	4	2	0	4	
5.	Тема 5. Линейный симметричный вibrator.	6	5	2	0	4	
6.	Тема 6. Методы создания эффективных передающих антенн.	6	6	2	0	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
7.	Тема 7. Влияние земли на направленные свойства антенн.	6	7	2	0	0	
8.	Тема 8. Конструкции антенн.	6	8	2	0	4	
9.	Тема 9. Симметричный вибратор с рефлектором.	6	9	2	0	4	
10.	Тема 10. Основные радиотехнические характеристики антенн.	6	10	2	0	4	
11.	Тема 11. Рупорные антенны.	6	11	2	0	4	
12.	Тема 12. Зеркальные антенны.	6	12	2	0	4	
13.	Тема 13. Методики измерений основных характеристик антенн.	6	13	2	0	0	
14.	Тема 14. Фазированные антенные решетки	6	14	2	0	0	
15.	Тема 15. Земные и тропосферные волны.	6	15	2	0	0	
16.	Тема 16. Распространение УКВ в урбанизированных средах.	6	16	2	0	0	
17.	Тема 17. Строение ионосферы и распространение в ней радиоволн.	6	17	2	0	0	
18.	Тема 18. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов.	6	18	2	0	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	6		0	0	0	Экзамен
	Итого			36	0	28	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Излучение электромагнитных волн.

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Уравнения Максвелла. Опыты Герца

##### Тема 2. Распространение электромагнитных волн.

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Вывод волнового уравнения. Волновое уравнение для сред с потерями.

### **Тема 3. Векторный и скалярный потенциалы электромагнитного поля.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Потенциал для электростатического поля. Векторный потенциал. Зависимые от времени потенциалы. Уравнения для потенциалов.

### **Тема 4. Элементарный вибратор.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Решения уравнений Даламбера. Физический смысл калибровки Лоренца. Поле вокруг линейного провода. Напряженность электромагнитного поля элементарного вибратора. Три зоны поля вибратора. Напряженность электрического поля в дальней зоне.

#### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Поле вокруг линейного провода. Напряженность электромагнитного поля элементарного вибратора. Три зоны поля вибратора. Напряженность электрического поля в дальней зоне.

### **Тема 5. Линейный симметричный вибратор.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Излучение линейного симметричного вибратора. Мощность излучаемая вибратором. Сопротивление излучения симметричного вибратора.

#### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Излучение линейного симметричного вибратора. Мощность излучаемая вибратором. Сопротивление излучения симметричного вибратора.

### **Тема 6. Методы создания эффективных передающих антенн.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Излучение антенны состоящей из системы линейных симметричных вибраторов.

### **Тема 7. Влияние земли на направленные свойства антенн.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Влияние земли на диаграмму направленности вертикального диполя. Влияние земли на диаграмму направленности горизонтального диполя.

### **Тема 8. Конструкции антенн.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Конструкции антенн. Поле горизонтального диполя в вертикальной плоскости. Поле вертикального диполя в вертикальной плоскости. Квадратичная формула Веденского.

#### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Поле горизонтального диполя в вертикальной плоскости. Поле вертикального диполя в вертикальной плоскости. Квадратичная формула Веденского.

### **Тема 9. Симметричный вибратор с рефлектором.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Пассивный рефлектор. Активный рефлектор.

#### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

пассивный рефлектор. Активный рефлектор.

### **Тема 10. Основные радиотехнические характеристики антенн.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Основные радиотехнические характеристики антенн.

#### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Основные радиотехнические характеристики антенн.

### **Тема 11. Рупорные антенны.**

#### ***лекционное занятие (2 часа(ов)):***

Схемы построения и основы теории.

#### ***лабораторная работа (4 часа(ов)):***

Схемы построения

**Тема 12. Зеркальные антенны.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Схемы построения и основы теории.

**лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Схемы построения

**Тема 13. Методики измерений основных характеристик антенн.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ, ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ И ШУМОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ АНТЕННЫ

**Тема 14. Фазированные антенные решетки**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Основа теории построения эффективных фазированных антенных решеток.

**Тема 15. Земные и тропосферные волны.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Особенности распространения радиоволн в приземном слое и тропосфере.

**Тема 16. Распространение УКВ в урбанизированных средах.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Особенности распространения ультракоротких волн в урбанизированных средах.

**Тема 17. Строение ионосферы и распространение в ней радиоволн.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Особенности ионосферного распространения радиоволн.

**Тема 18. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Распространения сверх длинных и длинных радиоволн. Распространение волн СВЧ диапазона.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Излучение электромагнитных волн.	6	1	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос
2.	Тема 2. Распространение электромагнитных волн.	6	2	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос
3.	Тема 3. Векторный и скалярный потенциалы электромагнитного поля.	6	3	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос
4.	Тема 4. Элементарный вибратор.	6	4	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос Устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Линейный симметричный вибратор.	6	5	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос
7.	Тема 7. Влияние земли на направленные свойства антенн.	6	7	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос
8.	Тема 8. Конструкции антенн.	6	8	Исследование диаграммы направленности горизонтального диполя. подготовка к отчету	2	Письменный отчет.
9.	Тема 9. Симметричный вибратор с рефлектором.	6	9	Моделирование симметричного вибратора с пассивным и активным рефлектором. Исследование их диаграмм	2	Письменный отчет.
10.	Тема 10. Основные радиотехнические характеристики антенн.	6	10	подготовка к отчету	2	отчет
11.	Тема 11. Рупорные антенны.	6	11	подготовка к отчету	2	Письменный отчет.
12.	Тема 12. Зеркальные антенны.	6	12	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос
13.	Тема 13. Методики измерений основных характеристик антенн.	6	13	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос
14.	Тема 14. Фазированные антенные решетки	6	14	Проработка лекционного материала. Работа с литературой	2	Устный опрос
	Итого				26	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Чтение лекций.

Самостоятельное изучение программы MMANA-GAL.



## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Излучение электромагнитных волн.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 2. Распространение электромагнитных волн.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 3. Векторный и скалярный потенциалы электромагнитного поля.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 4. Элементарный вибратор.**

Устный опрос Устный опрос , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 5. Линейный симметричный вибратор.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 6. Методы создания эффективных передающих антенн.**

### **Тема 7. Влияние земли на направленные свойства антенн.**

Устный опрос , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 8. Конструкции антенн.**

Письменный отчет. , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 9. Симметричный вибратор с рефлектором.**

Письменный отчет. , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 10. Основные радиотехнические характеристики антенн.**

отчет , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 11. Рупорные антенны.**

Письменный отчет. , примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 12. Зеркальные антенны.**

Устный опрос, примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 13. Методики измерений основных характеристик антенн.**

Устный опрос, примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 14. Фазированные антенные решетки**

Устный опрос, примерные вопросы:

Проработка лекционного материала. Работа с литературой

### **Тема 15. Земные и тропосферные волны.**

### **Тема 16. Распространение УКВ в урбанизированных средах.**

## **Тема 17. Строение ионосферы и распространение в ней радиоволн.**

## **Тема 18. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов.**

## **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Вопросы к экзамену по курсу

Антенны и распространения радиоволн

1. Уравнения Максвелла.
2. Электромагнитные волны в среде без потерь.
3. Электромагнитные волны в среде с потерями (среда диэлектрик).
4. Электромагнитные волны в среде с потерями (среда проводник).
5. Критерий разделения сред на диэлектрики и проводники.
6. Векторный и скалярный потенциалы.
7. Уравнения Даламбера. Калибровка Лоренца.
8. Решение уравнений Даламбера. Поле вокруг линейного провода.
9. Напряженность электрического поля и векторного потенциала элементарного вибратора.
10. Три зоны поля вибратора. Ближняя зона. Дальняя зона. Промежуточная зона.
11. Напряженность электрического поля в дальней зоне в свободном пространстве. Диаграмма направленности элементарного вибратора. Мощность, излучаемая вибратором. Сопrotивление излучения вибратора.
12. Излучение линейного симметричного вибратора.
13. Диаграмма направленности линейного симметричного вибратора в свободном пространстве.
14. Мощность, излучаемая линейным симметричным вибратором.
15. Сопrotивление излучения симметричного вибратора.
16. Эффективность передающей антенны.
17. Диаграмма направленности системы линейных симметричных вибраторов в свободном пространстве.
18. Антенна, состоящая из нескольких рядов линейных симметричных вибраторов.
19. Влияние "земли" на направленные свойства антенны в вертикальной плоскости.
20. Поле горизонтального диполя в вертикальной плоскости.
21. Поле вертикального диполя в вертикальной плоскости.
22. Квадратичная формула Веденского.
23. Симметричный вибратор с рефлектором. Активный рефлектор.
24. Симметричный вибратор с рефлектором. Пассивный рефлектор.

### **7.1. Основная литература:**

Антенные решетки с последовательным питанием, Банков, Сергей Евгеньевич, 2013г.

Адаптивные антенны систем связи и телекоммуникаций, Чони, Юрий Иванович, 2012г.

Сфокусированные антенные решетки в составе радиоэлектронных средств группы малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, Веденькин, Денис Андреевич, 2012г.

Адаптивные антенные решетки телекоммуникационных систем, реализующие градиентные алгоритмы в статической или динамической системе координат управления, Хассан, Али, 2010г.

<http://znanium.com/bookread2.php?book=557086>

<http://znanium.com/bookread.php?book=367972>

Физика волновых процессов. Учебно-методическое пособие / Г.Е. Корчагин, А.А. Журавлев, Ю.М. Стенин. Казань: Изд-во КФУ, 2013. 77 с.

[http://kpfu.ru/portal/docs/F508769565/phys\\_voln\\_proc\\_2014\\_06\\_18\\_02.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F508769565/phys_voln_proc_2014_06_18_02.pdf)

## 7.2. Дополнительная литература:

Фальковский, О.И. Техническая электродинамика [Электронный ресурс] : учеб. ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург : Лань, 2009. ? 432 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/403>. ? Загл. с экрана.

Сомов, А.М. Антенно-фидерные устройства [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.М. Сомов, В.В. Старостин, Р.В. Кабетов. ? Электрон. дан. ? Москва : Горячая линия-Телеком, 2011. ? 404 с. ? Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5200>. ? Загл. с экрана.

## 7.3. Интернет-ресурсы:

Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн - [http://www.techbook.ru/book.php?id\\_book=185](http://www.techbook.ru/book.php?id_book=185)

Антенны и распространение радиоволн - <http://window.edu.ru/resource/597/68597>

Антенны СВЧ устройств -

[http://www.edu.ru/modules.php?op=modload&name=Web\\_Links&file=index&l\\_op=viewlink&cid=1506](http://www.edu.ru/modules.php?op=modload&name=Web_Links&file=index&l_op=viewlink&cid=1506)

Издательство радиотехника - <http://www.radiotec.ru/catalog.php?cat=bo6>

Распространение радиоволн - <http://www.radioscanner.ru/files/other/file6843/>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Распространение электромагнитных волн" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Программа MMANA-GAL

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки Специальные радиотехнические системы .

Автор(ы):

Колчев А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Акчурин А.Д. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.