

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



подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Физика колебательных и волновых процессов: Распространение электромагнитных волн Б3.Б.8

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Радиофизические измерения

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Насыров И.А. , Терешин С.Н.

**Рецензент(ы):**

Овчинников М.Н.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Овчинников М. Н.

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

Учебно-методическая комиссия Института физики:

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

Регистрационный No 6141114

Казань  
2014

## 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) Насыров И.А. Кафедра радиоэлектроники Отделение радиофизики и информационных систем , Igor.Nasyrov@kpfu.ru ; ассистент, б/с Терешин С.Н. Кафедра радиоэлектроники Отделение радиофизики и информационных систем , Sergei.Tereshin@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины (модуля) Физика волновых процессов является изучение фундаментальных основ распространения волн различной природы в линейных и нелинейных средах. Основное внимание уделено распространению электромагнитных волн диапазона радиочастот.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.Б.8 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр.

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

Курс предназначен для студентов 3 курса, 6 семестр

Б3.Б.7 профессиональный цикл

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-11 (общекультурные компетенции)	способность 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)	способность к правильному использованию общенаучной и специальной терминологии

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

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

2. должен уметь:

самостоятельно использовать основные методы радиофизических измерений;

3. должен владеть:

методами проведения аналитических и численных расчетов;

4. должен продемонстрировать способность и готовность:

проведения аналитических и численных расчетов

### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 7 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. Введение. Волновые уравнения в различных средах. Поток энергии, Основные характеристики волнового процесса. Плоские сферические волны	7	1	2	0	0	
2.	Тема 2. Упругие волны в жидкостях, газах и твердых телах. Основные свойства. Дифракция на ультразвуке	7	2-3	0	0	10	устный опрос
3.	Тема 3. Распространение волн в неоднородных средах. Неоднородные среды. Приближение геометрической оптики.	7	2	2	0	0	устный опрос
5.	Тема 5. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела сред.	7	4	2	0	0	устный опрос
6.	Тема 6. Распространение электромагнитных волн в средах с частотной (временной) дисперсией.	7	5-6	0	0	10	устный опрос

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. Волны в периодических структурах.	7	7	2	0	0	устный опрос
8.	Тема 8. Излучение электромагнитных волн.	7	8	2	0	0	устный опрос
9.	Тема 9. Распространение звуковых волн.	7	9	2	0	0	устный опрос
10.	Тема 10. Электромагнитные волны в анизотропных средах.	7	10-14	0	0	8	устный опрос
11.	Тема 11. Волны в нелинейных средах.	7	15	2	0	0	устный опрос
12.	Тема 12. Самовоздействие плоских волн.	7	16-17	2	0	8	устный опрос
13.	Тема 13. Нелинейные явления в ионосфере при распространении мощных радиоволн.	7	18	2	0	0	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	7		0	0	0	экзамен
	Итого			18	0	36	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Введение. Волновые уравнения в различных средах. Поток энергии, Основные характеристики волнового процесса. Плоские сферические волны**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Волновые уравнения в различных средах. Поток энергии, Основные характеристики волнового процесса. Плоские сферические волны

**Тема 2. Упругие волны в жидкостях, газах и твердых телах. Основные свойства.**

**Дифракция на ультразвуке**

**лабораторная работа (10 часа(ов)):**

Упругие волны в жидкостях, газах и твердых телах. Основные свойства. Дифракция на ультразвуке

**Тема 3. Распространение волн в неоднородных средах. Неоднородные среды.**

**Приближение геометрической оптики.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Распространение волн в неоднородных средах. Неоднородные среды. Приближение геометрической оптики. Геометрическая оптика слоисто-неоднородных сред. Рефракция лучей в плоско-слоистой среде. Условия применимости приближения геометрической оптики. Свойства тропосферы и ионосферы. Распространение радиоволн в тропосфере и ионосфере.

**Тема 5. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела сред.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела сред. Отражение и преломление волн с горизонтальной, вертикальной и произвольной поляризацией. Коэффициенты отражения в различных средах, граничные условия при отражении.

#### **Тема 6. Распространение электромагнитных волн в средах с частотной (временной) дисперсией.**

##### ***лабораторная работа (10 часа(ов)):***

Распространение электромагнитных волн в средах с частотной (временной) дисперсией. Дисперсия волн. Дисперсные и бездисперсные моды. Уравнения электромагнитного поля в средах с частотной дисперсией. Нормальная и аномальная дисперсия волн. Фазовая групповая скорости волн.

#### **Тема 7. Волны в периодических структурах.**

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

Волны в периодических структурах. Волны в сплошной среде со слабыми периодическими неоднородностями. Волны в дискретных структурах. Дискретные электрические линии Линия с параметрами зависящими от координат

#### **Тема 8. Излучение электромагнитных волн.**

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

Излучение электромагнитных волн. Ближняя и дальняя зоны. Сопротивление излучения. Формирование диаграммы направленности для радиоволн различной поляризации.

#### **Тема 9. Распространение звуковых волн.**

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

Распространение звуковых волн. Излучение звука; акустический импеданс излучателя; присоединенная масса; сопротивление излучения.

#### **Тема 10. Электромагнитные волны в анизотропных средах.**

##### ***лабораторная работа (8 часа(ов)):***

Эффект Фарадея. Эффект Керра.

#### **Тема 11. Волны в нелинейных средах.**

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

Волны в нелинейных средах. Критерии применимости линейных моделей при распространении волн. Уравнение для нелинейных волн в средах с дисперсией. Методы решения нелинейных волновых уравнений Эффекты нелинейного распространения электромагнитных волн (обзор экспериментальных результатов.)

#### **Тема 12. Самовоздействие плоских волн.**

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

Самовоздействие плоских волн. Нелинейное поглощение волны. Нелинейное просветление среды. Самофокусировка и дефокусировка волн. Нелинейная дисперсия. Нелинейное взаимодействие волн. Эффект кросс-модуляции

##### ***лабораторная работа (8 часа(ов)):***

Приборы на основе поверхностных акустических волн.

#### **Тема 13. Нелинейные явления в ионосфере при распространении мощных радиоволн.**

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

Обзор нелинейных явлений в ионосфере при распространении мощных радиоволн.

### **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
2.	Тема 2. Упругие волны в жидкостях, газах и твердых телах. Основные свойства. Дифракция на ультразвуке	7	2-3	подготовка к устному опросу	10	устный опрос
3.	Тема 3. Распространение волн в неоднородных средах. Неоднородные среды. Приближение геометрической оптики.	7	2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
5.	Тема 5. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела сред.	7	4	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
6.	Тема 6. Распространение электромагнитных волн в средах с частотной (временной) дисперсией.	7	5-6	подготовка к устному опросу	10	устный опрос
7.	Тема 7. Волны в периодических структурах.	7	7	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
8.	Тема 8. Излучение электромагнитных волн.	7	8	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
9.	Тема 9. Распространение звуковых волн.	7	9	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
10.	Тема 10. Электромагнитные волны в анизотропных средах.	7	10-14	подготовка к устному опросу	10	устный опрос
11.	Тема 11. Волны в нелинейных средах.	7	15	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
12.	Тема 12. Самовоздействие плоских волн.	7	16-17	подготовка к устному опросу	10	устный опрос
13.	Тема 13. Нелинейные явления в ионосфере при распространении мощных радиоволн.	7	18	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
	Итого				54	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Используются такие интерактивные формы обучения как обсуждение теоретических вопросов, проведение блиц-опросов, применение роли экспертов для студентов.

Выполняются лабораторные работы по курсу.

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

**Тема 1. Введение. Волновые уравнения в различных средах. Поток энергии, Основные характеристики волнового процесса. Плоские сферические волны**

**Тема 2. Упругие волны в жидкостях, газах и твердых телах. Основные свойства. Дифракция на ультразвуке**

устный опрос , примерные вопросы:

Упругие волны в жидкостях, газах и твердых телах. Основные свойства. Дифракция на ультразвуке

**Тема 3. Распространение волн в неоднородных средах. Неоднородные среды. Приближение геометрической оптики.**

устный опрос , примерные вопросы:

Неоднородные среды. Приближение геометрической оптики. Геометрическая оптика слоисто-неоднородных сред. Рефракция лучей в плоско-слоистой среде. Условия применимости приближения геометрической оптики. Свойства тропосферы и ионосферы. Распространение радиоволн в тропосфере и ионосфере.

**Тема 5. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела сред.**

устный опрос , примерные вопросы:

Отражение и преломление волн с горизонтальной, вертикальной и произвольной поляризацией. Коэффициенты отражения в различных средах, граничные условия при отражении.

**Тема 6. Распространение электромагнитных волн в средах с частотной (временной) дисперсией.**

устный опрос , примерные вопросы:

Распространение электромагнитных волн в средах с частотной (временной) дисперсией. Дисперсия волн. Дисперсные и бездисперсные моды. Уравнения электромагнитного поля в средах с частотной дисперсией. Нормальная и аномальная дисперсия волн. Фазовая групповая скорости волн.

**Тема 7. Волны в периодических структурах.**

устный опрос , примерные вопросы:

Волны в сплошной среде со слабыми периодическими неоднородностями. Волны в дискретных структурах. Дискретные электрические линии Линия с параметрами зависящими от координат

**Тема 8. Излучение электромагнитных волн.**

устный опрос , примерные вопросы:

Излучение электромагнитных волн. Ближняя и дальняя зоны. Сопротивление излучения. Формирование диаграммы направленности для радиоволн различной поляризации.

**Тема 9. Распространение звуковых волн.**

устный опрос , примерные вопросы:

Излучение звука; акустический импеданс излучателя; присоединенная масса; сопротивление излучения.

**Тема 10. Электромагнитные волны в анизотропных средах.**

устный опрос , примерные вопросы:



Электромагнитные волны в анизотропных средах. Общие закономерности распространения электромагнитных волн в анизотропных средах. Распространение плоских высокочастотных волн в магнитоактивной плазме. Частные случаи распространения радиоволн в магнитоактивной плазме, продольное и поперечное распространение. Эффект Фарадея. Эффект Керра.

### **Тема 11. Волны в нелинейных средах.**

устный опрос , примерные вопросы:

Критерии применимости линейных моделей при распространении волн. Уравнение для нелинейных волн в средах с дисперсией. Методы решения нелинейных волновых уравнений. Эффекты нелинейного распространения электромагнитных волн (обзор экспериментальных результатов.)

### **Тема 12. Самовоздействие плоских волн.**

устный опрос , примерные вопросы:

Приборы на основе поверхностных акустических волн.

### **Тема 13. Нелинейные явления в ионосфере при распространении мощных радиоволн.**

устный опрос , примерные вопросы:

Нелинейные явления в ионосфере при распространении мощных радиоволн.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

1. Понятие волны. Одномерное волновое уравнение.
2. Фазовая скорость. Импеданс (волновое сопротивление) среды.
3. Отражение и прохождение волн.
4. Согласование импедансов двух сред. Стоячие волны.
5. Групповая скорость.
6. Вывод волнового уравнения идеальной линии передачи.
7. Вывод волнового уравнения для линии с потерями.
8. Связь волнового сопротивления линии передачи без потерь с ее параметрами.
9. Вывести выражение для затухания и волнового числа в линии с потерями.
10. Получить выражение для амплитудных коэффициентов отражения и прохождения для токов и напряжений в линии передачи, нагруженной на сопротивление  $Z_L$ .
11. Уравнения Максвелла.
12. Электромагнитные волны в среде без потерь.
13. Электромагнитные волны в среде с потерями (среда диэлектрик).
14. Электромагнитные волны в среде с потерями (среда проводник).
15. Критерий разделения сред на диэлектрики и проводники.
16. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на плоской границе раздела двух сред.
17. Отражение при горизонтальной падающей поляризации волны.
18. Отражение и преломление при вертикальной поляризации падающей волны.
19. Коэффициенты отражения для различных сред. Случай произвольной поляризации падающей электромагнитной волны.
20. Распространение радиоволн в неоднородных средах. Приближение геометрической оптики.
21. Геометрическая оптика слоисто-неоднородной среды.
22. Рефракция лучей в плоскостойкой среде. Условие применимости метода геометрической оптики.
23. Векторный и скалярный потенциалы.
24. Уравнения Даламбера. Калибровка Лоренца.

25. Решение уравнений Даламбера. Поле вокруг линейного провода.
26. Напряженность электрического поля и векторного потенциала элементарного вибратора.
27. Три зоны поля вибратора. Ближняя зона. Дальняя зона. Промежуточная зона.
28. Напряженность электрического поля в дальней зоне в свободном пространстве. Диаграмма направленности элементарного вибратора. Мощность, излучаемая вибратором. Соппротивление излучения вибратора.
29. Общий вид решения волновых уравнений в волноводах. Дисперсия в волноводах.
30. Типы волн в волноводах. Волны без дисперсии.
31. Прямоугольный волновод. ТЕ-мода. ТМ-мода.
32. Основная мода. Коаксиальный волновод.

### 7.1. Основная литература:

1. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. [Электронный ресурс] М.:Физматлит, 2007 г., Издание 3-е, под ред. С.М. Рытова, 656 стр. ISBN: 978-5-9221-0776-1. Режим доступа: - <http://e.lanbook.com/view/book/2167/>
2. Дубнищев Ю.Н. Колебания и волны. [Электронный ресурс] Учебное пособие. 2-е изд. перераб. - СПб: Лань, 2011. - 384 стр. Режим доступа: - <http://e.lanbook.com/view/book/683/>
3. Насыров А.М. Волновые процессы, ч.1. Основные понятия, [Электронный ресурс] Учебно-методическое пособие, изд. КГУ, 1995- 42с. Режим доступа: - <http://kpfu.ru/docs/F1418525667/wp1.pdf>
4. Насыров А.М. Волновые процессы, ч.2. Электромагнитные волны диапазона радиочастот, [Электронный ресурс] Учебно-методическое пособие, изд. КГУ 1995, -39с. Режим доступа: - <http://kpfu.ru/docs/F691322566/wp2.pdf>
5. Насыров А.М. Волновые процессы, ч.3. Распространение радиоволн в неоднородных и анизотропных средах. [Электронный ресурс] Учебно-методическая разработка. изд. КГУ. 1995,-49с. Режим доступа: - <http://kpfu.ru/docs/F859368769/wp3.pdf>

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. - М: Наука, 1979.
2. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М: Радио, 1988.
3. Черный Б.Ф. Распространение радиоволн. - М: Советское радио, 1972.
4. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. - М: Наука, 1967.
5. Пейн Е. Физика колебаний и волн. - М: Мир, 1979.
6. Гольдштейн А.Д., Зернов Н.В.. Электромагнитные поля и волны. - М: Наука, 1956.
7. Гуревич А. Ю., Шварбург А. Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. - М: Наука, 1973.
8. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.Я. Волновые явления в ионосфере и космической плазме. -М:Наука, 1984.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Плоские электромагнитные волны -

<http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC8zc2VtL2NvdXJzZTkzL2xlYy90N1>

Волновые процессы - <http://mashdet.ru/labmehn/labmexan55.htm>

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ -

<http://rusnauka.narod.ru/lib/physic/destroy/glava7.htm>

Кафедра радиоэлектроники КФУ. Электронные ресурсы. -

[http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=8350](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=8350)

Распространение волн в диспергирующих средах -

<https://www.google.ru/#newwindow=1&q=%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1>

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

Освоение дисциплины "Физика колебательных и волновых процессов: Распространение электромагнитных волн" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Перечень материально-технического обеспечения включает в себя:

- лабораторный практикум по вопросам Физики волновых процессов включает в себя следующие работы:

1. Эффект Фарадея
- 2.\* Оптический переключатель в волноводном световоде на основе эффекта Керра
- 3.\* Упругие волны в жидкостях. Дифракция света на ультразвуковых волнах.
4. Исследование элементов волноводной техники
5. Определение добротности резонатора по КСНВ
- 6.\* Фильтры сигналов на поверхностных акустических волнах.
7. Акустические волны

Примечание: Работы, отмеченные знаком (\*), являются обязательными для выполнения студентами.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Радиофизические измерения .

Автор(ы):

Насыров И.А. \_\_\_\_\_

Терешин С.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Овчинников М.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.