

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

**сборник учебно-методических материалов**

для направления подготовки

03.03.02 - Физика

Благовещенск 2017

*Составитель: О.В. Зотова*

Электродинамика и распространение радиоволн: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 03.03.02. Физика – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра физики, 2017

© О.В. Зотова, составление

## ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия в радиотехнике сверхвысоких частот (СВЧ) и в антенной технике произошли заметные изменения, связанные с освоением новых частотных диапазонов, с совершенствованием элементной базы радиоустройств, с неуклонным внедрением компьютерных методов расчёта и проектирования.

В наши дни принципы волновой теории проникли в те области радиотехники, где ранее безраздельно господствовала методология традиционной теории цепей. Влияние методов волновой теории прослеживается даже в такой, казалось бы, далекой от электроники и техники СВЧ-области, как конструирование матричных сигнальных процессоров, которые, по-видимому, станут важнейшей для радиотехники разновидностью сверхбольших интегральных схем.

Поэтому очень актуальной становится задача подготовки специалистов способных работать в данных областях, которые базируются на теории электромагнитного поля и теории электрических СВЧ-цепей.

Целями освоения дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн» является обучение студентов основным принципам теории электромагнитного поля, методам решения задач электродинамики, связанных с излучающими и направляющими системами, а также теории и практики распространения радиоволн. Основными задачами дисциплины являются: формирование необходимого минимума физических, математических, теоретических и практических знаний и навыков, которые обеспечили бы возможность понимать и анализировать электромагнитные процессы, независимо от формы и области их проявления; знаний об основных особенностях распространения радиоволн в различных диапазонах. При этом используются аппараты векторного анализа, дифференциальных уравнений, теории комплексных переменных и теории матриц.

Занятия по дисциплине организуются в форме аудиторной (лекционные и практические занятия) и самостоятельной работы. Практические (семинарские) занятия проводятся в форме коллективной работы по разбору конкретных

примеров теоретического материала, расчетов и решения задач. Значительный объем трудозатрат по курсу отведен на самостоятельную работу. В целях мотивации самостоятельной работы и обеспечения ее необходимого объема все виды аудиторной работы предполагают создание тематических проблемных ситуаций, рекомендуемых для самостоятельного анализа и последующего коллективного разбора. Материал каждой темы насыщен математическими соотношениями, физическая интерпретация которых зачастую достаточно сложна, поэтому изучение материала требует серьезной, вдумчивой работы.

## 1 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### ***Тема 1. Полная система уравнений Максвелла. Энергетические соотношения в электромагнитном поле***

Основные законы: теорема Гаусса, закон сохранения заряда, закон неразрывности магнитных силовых линий, закон полного тока и закон электромагнитной индукции. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме и ее частные случаи для статических и стационарных полей. Материальные уравнения электромагнитного поля и классификация сред. Энергия электромагнитного поля и баланс энергии поля. Теорема Пойнтинга. Лемма Лоренца.

### ***Тема 2. Электромагнитные волны в различных средах***

Понятие волнового процесса. Волновой характер переменного электромагнитного поля. Уравнение Гельмгольца. Плоские волны и их характеристики. Плотность потока мощности в плоской электромагнитной волне. Поляризация электромагнитных волн.

Электромагнитные волны в средах с частотной дисперсией. Распространение импульсов в средах с частотной дисперсией. Групповая скорость. Поверхностные эффекты.

### ***Тема 3. Краевые задачи электродинамики. Падение плоских волн на границу раздела двух сред***

Поля на границах раздела сред. Граничные условия для векторов электрического поля. Граничные условия для векторов магнитного поля.

Падение плоской электромагнитной волны на границу раздела двух сред без потерь. Формулы Френеля. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение. Падение плоской электромагнитной волны на диэлектрическое полупространство с потерями. Приближенные граничные условия Леонтовича и теория сильного скин-эффекта.

### ***Тема 4. Электромагнитные волны в направляющих системах***

Падение плоских волн с параллельной и перпендикулярной поляризацией на идеально проводящую плоскость. Математическое представление и класси-

фикация направляемых волн: Т-, Е- и Н-волны. Структура и некоторые характеристики направляемых волн.

Прямоугольный и круглый металлические волноводы. Решение двумерного уравнения Гельмгольца. Волны типа Е и типа Н. Критические частоты, дисперсионная характеристика волновода. Структура силовых линий векторов электромагнитного поля и поверхностных токов. Характеристическое сопротивление волновода. Некоторые способы возбуждения и основы применения прямоугольных и круглых волноводов.

Затухание волн в полых металлических волноводах. Поверхностные электромагнитные волны и замедляющие системы.

#### ***Тема 5. Электромагнитные колебания в объемных резонаторах***

Объемные резонаторы. Отрезок направляющей структуры, ограниченный металлическими торцевыми поверхностями, как резонатор. Анализ собственных колебаний в полых резонаторах. Прямоугольный, круглый и коаксиальный резонаторы. Структура силовых линий электромагнитного поля для различных типов колебаний в резонаторах. Некоторые способы возбуждения и включения объемных резонаторов. Пропорциональный резонатор. Добротность объемных резонаторов.

#### ***Тема 6. Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели***

Неоднородные уравнения Максвелла. Векторный и скалярный потенциалы электромагнитного поля. Неоднородное уравнение Гельмгольца и его решение в случае возбуждения свободного пространства заданной системой сторонних источников.

Элементарный источник электромагнитного поля и свойства возбуждаемой им сферической волны. Элементарные электрический и магнитный излучатели: структура поля, диаграммы направленности, сопротивление излучения, коэффициент направленного действия.

Элемент Гюйгенса. Теорема эквивалентности. Условие излучения.

#### ***Тема 7. Распространение электромагнитных волн в атмосфере Земли***

### ***7.1 Распространение электромагнитных волн вблизи поверхности Земли***

Влияние земной поверхности на распространение радиоволн. Параметры земной поверхности. Расстояние прямой видимости. Классификация моделей радиотрасс над земной поверхностью. Поле излучателя, поднятого над плоской поверхностью. Влияние сферичности Земли. Интерференционный множитель (множитель ослабления). Поле в непосредственной близости от поверхности земли и в земле.

### ***7.2 Ионосферное и тропосферное распространение радиоволн***

Строение и электродинамические параметры земной атмосферы (тропосферы и ионосферы). Основные закономерности распространения радиоволн в атмосфере. Преломление радиоволн. Виды тропосферной рефракции. Закон отражения радиоволн в ионосфере. Влияние магнитного поля Земли на распространение радиоволн в ионосфере.

### ***7.3 Особенности распространения радиоволн различных диапазонов***

Особенности распространения радиоволн различных диапазонов на реальных трассах. Область пространства, существенная для распространения радиоволн. Дифракция радиоволн на препятствии.

## **2 СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ (СЕМИНАРСКИХ) ЗАНЯТИЙ**

### **2.1 Темы практических (семинарских) занятий**

1. Решение задач. Расчет характеристик электромагнитного поля с применение уравнений Максвелла и теоремы Пойтинга для случаев квазистационарного и переменного электромагнитного поля в однородной среде и на границе раздела сред.

2. Решение задач. Расчет характеристик плоских электромагнитных волн в диэлектрике, проводящей среде и в диэлектрике с потерями. Определение характеристического сопротивления среды..

3. Решение задач. Падение плоской волны на границу двух сред без потерь. Формулы Френеля, угол Брюстера.

4. Решение задач. Электромагнитные поля в прямоугольном и круглом волноводах.  $T$ -волны в направляющих системах.

5. Решение задач. Электромагнитные волны в объемных резонаторах.

6. Решение задач. Излучение электромагнитных волн. Электрический и магнитный излучатели.

7. Семинар. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов.

### **2.2 Вопросы для самопроверки при подготовке к практическим занятиям**

***Тема 1. Полная система уравнений Максвелла. Энергетические соотношения в электромагнитном поле***

1. Каковы основные особенности электромагнитного поля, подтверждающие его материальность?

2. В чем заключается физический смысл векторов, характеризующих электромагнитное поле?

3. Какие экспериментальные законы лежат в основе уравнений Максвелла?

4. В чем состоит физический смысл тока смещения?

5. Каков физический смысл уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах?

6. В чем заключается разница между симметричной и несимметричной формами записи уравнений Максвелла?

7. Какие энергетические составляющие могут входить в уравнение баланса энергии электромагнитного поля?

8. Запишите выражение для вектора Пойнтинга в случае гармонических во времени полей.

## ***Тема 2. Электромагнитные волны в различных средах***

1. Какой вид имеют материальные уравнения для векторов электромагнитного поля?

2. Какие классификации сред, применяются в электродинамике?

3. Какие виды волновых уравнений используются для решения задач электродинамики?

4. В чем заключается смысл калибровочного соотношения?

5. В чем состоит отличие уравнений Даламбера и Гельмгольца от обобщенного волнового уравнения?

6. Какая волна называется плоской однородной? Каковы основные свойства плоской волны?

7. Дайте определение фронта волны, длины волны, коэффициента фазы, фазовой и групповой скоростей, волнового сопротивления среды.

8. Дайте определение фронта волны, длины волны, коэффициента фазы, фазовой и групповой скоростей, волнового сопротивления среды.

9. Какой характер носит волновое число в различных средах?

10. Дайте определение поверхностному эффекту. От каких факторов зависит глубина проникновения и сопротивления проводника поверхностному току?

11. Какова природа явления дисперсии при распространении плоской волны в полупроводящей среде?

12. К чему приводит нелинейность и анизотропия среды при распростра-

нении плоской волны?

13. Что понимается под поляризацией электромагнитной волны? Какие существуют виды поляризаций электромагнитной волны?

14. При каких условиях эллиптическая поляризация может перейти в линейную, круговую правого и левого вращения?

***Тема 3. Краевые задачи электродинамики. Падение плоских волн на границу раздела двух сред***

1. Как формулируется электродинамическая задача на отражение и преломление плоской волны на границе раздела сред?

2. В чем состоит смысл введения граничных условий?

3. Какую плоскость называют плоскостью падения?

4. Сформулируйте и запишите законы отражения и преломления в изотропной среде.

5. Изобразите поведение модуля, и фазы коэффициента отражения при падении плоской волны на границу раздела в функции от угла падения.

6. Какими коэффициентами определяется интенсивность отраженной и преломленной волн?

7. Какой угол называется углом Брюстера? При каком условии он может существовать?

8. Какой угол называется критическим? При каком условии наблюдается явление полного внутреннего отражения?

9. Как определяется поляризация электромагнитной волны, падающей на границу раздела сред?

10. Что понимается под толщиной скин-слоя?

11. Обосновать необходимость учета формы силовых линий поверхностной плотности тока для расчета тепловых потерь в проводнике.

***Тема 4. Электромагнитные волны в направляющих системах***

1. Назовите существующие в настоящее время типы направляющих систем.

2. В чем заключается отличие электрических, магнитных и поперечных

электромагнитных волн в линиях передачи?

3. Какие типы волн могут распространяться в волноводах, коаксиальных и проводных линиях передачи?

4. Сформулируйте постановку задачи о распространении электромагнитных волн в волноводе.

5. Какие граничные условия используются при решении волнового уравнения в полом металлическом волноводе?

6. В каких пределах могут изменяться фазовая и групповая скорости электромагнитных волн в волноводе?

7. Какой тип колебаний принято называть основным?

8. Исходя из каких условий, производится выбор размеров поперечного сечения волновода?

9. Сформулируйте требования к устройствам возбуждения электромагнитных колебаний в волноводе.

#### ***Тема 5. Электромагнитные колебания в объемных резонаторах***

1. Какие типы объемных резонаторов используются в технике сверхвысоких частот?

2. Какие типы колебаний могут существовать в объемных резонаторах?

3. Что показывают индексы в обозначении типа колебания резонатора?

4. Как определяется добротность объемного резонатора?

5. Из каких соображений определяются размеры объемных резонаторов, построенных на основе прямоугольного и круглого волноводов?

6. Какие системы возбуждения резонаторов используются на практике?

7. В чем заключается особенность тороидального резонатора?

#### ***Тема 6. Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели***

1. Какова цель введения понятия элементарного излучателя?

2. Как формулируется задача излучения электромагнитных волн?

3. Какой метод решения используется для расчета излучения элементарного электрического диполя?

4. Назовите характерные зоны пространства и критерии разделения, в которых принято рассматривать поле излучения.

5. Охарактеризуйте энергетические свойства поля, излученного элементарным излучателем.

6. Какие характеристики свойственны элементарному излучателю как антенне?

7. Какие модели используются для описания элементарного магнитного излучателя?

8. Сравните излучающую способность элементарных электрического и магнитного излучателей.

9. Какой вид имеет диаграмма направленности элемента Гюйгенса?

### ***Тема 7. Распространение электромагнитных волн в атмосфере Земли***

#### ***7.1 Распространение электромагнитных волн вблизи поверхности Земли***

1. Как учитывают влияние поверхности Земли на РРВ?

2. Какими электромагнитными параметрами характеризуют поверхность Земли?

3. Как формулируют задачу дифракции радиоволн вокруг поверхности Земли?

4. Какие характерные области пространства принято выделять при изучении РРВ вдоль поверхности Земли?

5. Какие приближённые формулы для расчёта множителя ослабления используют в освещённой области пространства?

6. Как рассчитывают множитель ослабления в области тени?

7. В чём заключается сущность явлений: береговой рефракции; усиления за счёт препятствия; изменения уровня поля при переходе через границу участков неоднородной трассы?

8. Как учитывают влияние распределённых случайным образом неровностей поверхности Земли при исследовании процессов распространения радиоволн над подобными неровными поверхностями?

## ***7.2. Ионосферное и тропосферное распространение радиоволн***

1. Какие области атмосферы Земли и в каких частотных диапазонах оказывают влияние на РРВ?
2. Как изменяются во времени и в пространстве электромагнитные параметры различных областей атмосферы?
3. Какие виды тропосферной рефракции рассматривают при РРВ?
4. В чём заключается смысл введения понятия об эквивалентном радиусе Земли?
5. Каковы необходимые условия для отражения радиоволн от ионосферы?
6. К чему приводит зависимость электромагнитных параметров ионосферы от частоты?
7. Какие эффекты при РРВ в ионосфере связаны с наличием магнитного поля Земли?
8. Назовите механизмы потерь энергии электромагнитного поля в атмосфере.
9. Какими радиофизическими и метеорологическими методами исследуют состав и строение атмосферы?

## ***7.3. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов***

1. В чём заключаются особенности расчёта линий радиовещания, радионавигации и радиосвязи в диапазонах сверхдлинных и длинных радиоволн?
2. Каковы особенности расчёта линий радиовещания, радионавигации и радиосвязи в диапазоне средних радиоволн?
3. Как рассчитывают параметры линий радиовещания и радиосвязи в диапазоне коротких радиоволн?
4. В чём заключаются особенности расчёта линий радиовещания, телевидения и радиосвязи метрового диапазона радиоволн?
5. В чём заключаются особенности расчёта линий радиолокации, телевидения, радиоуправления и телеметрии дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов радиоволн?

6. Каковы особенности расчёта радиолиний с использованием искусственных спутников Земли?

### 2.3 Задачи для практических занятий и самостоятельного решения

**Тема 1: Расчет характеристик электромагнитного поля с применение уравнений Максвелла и теоремы Пойтинга для случаев квазистационарного и переменного электромагнитного поля в однородной среде и на границе раздела сред**

1.1 В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна с частотой 30 МГц. Определить расстояние, на котором фаза волны изменится на  $270^\circ$  и  $2520^\circ$ .

1.2 Плоская волна распространяется в вакууме. Магнитное поле описывается выражением  $\vec{H}(x,y,z,t) = \vec{H}_0 \cos(\omega t - \pi x - \pi y + \pi \sqrt{2} z)$ . Записать комплексную амплитуду напряженности магнитного поля. Определить частоту и направление распространения волны. Установить связь волнового вектора с векторами  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ .

1.3 Вывести формулу для определения коэффициента эллиптичности (отношение большой оси эллипса к малой) плоской электромагнитной волны, для которой в плоскости  $z = 0$  поля имеют вид  $\dot{E}_x = E_{0x} e^{j\varphi_x}$ ,  $\dot{E}_y = E_{0y} e^{j\varphi_y}$ . Найти ориентацию осей эллипса по отношению к осям системы координат.

1.4 Плоская электромагнитная волна падает нормально из вакуума на границу раздела со средой, имеющей параметры  $\varepsilon = 81$ ,  $\mu = 1$ ,  $\sigma = 0,1$  См/м. Определить комплексные коэффициенты отражения  $\dot{R}_E$  и преломления  $\dot{T}_E$  на частоте 100 МГц. Полагая, что амплитуда напряженности электрического поля падающей волны в плоскости  $z = 0$ , совпадающей с границей раздела, равна 1 В/м, записать выражение для мгновенного значения напряженности электрического поля отраженной, волны.

1.5 Плоская волна с частотой  $f = 1$  МГц падает под углом  $60^\circ$  на поверхность металла с параметрами  $\mu_r = 100$ ,  $\sigma = 10^7$  См/м. Амплитуда электрического

поля падающей волны 10 В/м. Определить среднее значение мощности, поглощаемой 1 см<sup>2</sup> поверхности металла. Как результат зависит от поляризации падающей волны? Какая доля мощности падающей волны тратится на нагрев металла?

1.6 Плоская электромагнитная волна падает нормально на границу раздела между вакуумом и идеальным металлом. Амплитуда напряженности электрического поля падающей волны 0,1 В/м. Определить комплексные амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей в вакууме на границе раздела, если вектор напряженности электрического поля падающей волны направлен по оси  $x$  декартовой системы координат с осью  $z$ , направленной перпендикулярно границе раздела в глубь металла. Записать выражения для мгновенных значений напряженностей электрического и магнитного полей в вакууме.

***Тема 2. Расчет характеристик плоских электромагнитных волн в диэлектрике, проводящей среде и в диэлектрике с потерями. Определение характеристического сопротивления среды***

2.1 Плоская электромагнитная волна с частотой  $f = 1$  МГц распространяется в морской воде с параметрами  $\epsilon_r = 81$ ,  $\sigma = 1 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$ . Определить фазовую скорость, длину волны, коэффициент затухания и волновое сопротивление среды.

2.2 Для плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с параметрами  $\epsilon = 144$ ,  $\mu = 1$ ,  $\text{tg } \delta_3 = 0,6$ , определить плотность потока мощности в плоскости  $z = 0$  на частоте 10 ГГц, если амплитуда напряженности электрического поля в этой плоскости равна 100 В/м.

2.3 В среде с параметрами  $\epsilon = 2,25$ ,  $\mu = 1$ ,  $\sigma = 0$  распространяется плоская электромагнитная волна с амплитудой напряженности электрического поля 100 В/м. Определить плотность потока мощности, переносимой волной в направлении распространения.

2.4 Определить комплексную амплитуду вектора напряженности электрического поля плоской электромагнитной волны в металле с параметрами  $\sigma =$

$6 \cdot 10^7$  См/м,  $\mu = 1$  на частотах 10 кГц и 1 МГц, если в заданной точке пространства комплексная амплитуда вектора напряженности магнитного поля  $\vec{H} = 25 \bar{1}_y$  А/м.

2.5 Некоторый диэлектрик на частоте 10 ГГц обладает параметрами  $\varepsilon = 3,8$ ,  $\mu = 1$ ,  $\text{tg } \delta_3 = 10^{-4}$ . Определить длину волны, коэффициент ослабления и характеристическое сопротивление такой среды.

2.6. Керамика титанат бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) на частоте 10 ГГц имеет параметры  $\varepsilon = 144$ ,  $\mu=1$ ,  $\text{tg } \delta_3=0,6$ . Определить длину волны, коэффициент ослабления и характеристическое сопротивление данной среды.

2.7 Определить толщину медного экрана, который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в  $10^4$  раза на частотах 50 Гц и 50 МГц.

2.8 Определить толщину экрана, который обеспечивает ослабление амплитуды электромагнитного поля в  $10^4$  раза на частоте 50 Гц, если он выполнен из материала с  $\sigma = 5 \cdot 10^7$  См/м и  $\mu = 900$ . Сравнить полученный результат с ответом к предыдущей задаче.

2.9 В среде с параметрами  $\varepsilon = 4$ ,  $\mu = 1$ ,  $\sigma = 0$  распространяется плоская электромагнитная волна, комплексная амплитуда вектора напряженности электрического поля которой в плоскости  $z = 0$   $\vec{E} = 0,5 \bar{1}_x + 0,2 \bar{1}_y$ . Определить комплексную амплитуду вектора напряженности магнитного поля, если волна распространяется в направлении увеличения координаты  $z$ .

2.10 Определить характеристическое сопротивление металла с удельной электрической проводимостью  $6 \cdot 10^7$  См/м и относительной магнитной проницаемостью  $\mu = 1$  на частотах 10 кГц и 1 МГц.

### ***Тема 3. Падение плоской волны на границу двух сред без потерь. Формулы Френеля, угол Брюстера***

3.1 Плоская электромагнитная волна падает под углом  $\varphi = 30^\circ$  из воздуха на границу раздела с идеальным диэлектриком с параметрами  $\varepsilon = 4$ ,  $\mu = 1$ . Амплитуда вектора  $E$  падающей волны равна 1 В/м, поляризация – нормальная (горизонтальная). Определить амплитуды векторов  $E$  и  $H$  отраженной и преломленной

волн, среднюю по времени плотность мощности, переносимую каждой волной, построить их мгновенные значения в окрестности точки падения.

3.2 Плоская электромагнитная волна параллельной поляризации из немагнитной среды 1 с  $\varepsilon_{r1} = 2$  попадает на границу раздела с немагнитной средой 2 с  $\varepsilon_{r2} = 4$ . Угол падения  $\alpha = 30^\circ$ .  $\dot{E}_{1n} = 10$  В/м. Определить  $\dot{E}_{10}$ ,  $\dot{E}_2$ ,  $\dot{H}_{1n}$ ,  $\dot{H}_{10}$ ,  $\dot{H}_2$ , модули векторов Пойтинга на границе раздела сред и мгновенное значение  $\dot{E}_2$  на границе раздела. Выяснить, при каком угле падения отраженная волна будет отсутствовать.

3.3. Плоская электромагнитная волна падает на границу раздела сред с различными значениями относительной магнитной проницаемости. Будет ли существовать угол, при котором отсутствует отраженная волна? Если да, то как величина этого угла связана с параметрами сред?

3.4 Плоская электромагнитная волна, вектор напряженности электрического поля которой лежит в плоскости падения, падает из диэлектрика с параметрами  $\varepsilon_1 = 9$ ,  $\mu = 1$ ,  $\sigma = 0$  на поверхность диэлектрика с параметрами  $\varepsilon_1 = 1$ ,  $\mu = 1$ ,  $\sigma = 0$ . При каких углах падения: а) вся энергия падающей волны переходит во вторую?

3.5 Вычислить угол полного внутреннего отражения для следующих диэлектриков: дистиллированной воды ( $\varepsilon = 81$ ), слюды ( $\varepsilon = 6$ ), оптического стекла ( $\varepsilon = 2,25$ ), полупроводника ( $\varepsilon = 16$ ).

3.6 Плоская электромагнитная волна, распространяющаяся в среде с параметрами  $\varepsilon = 2,25$ ,  $\mu = 1$ ,  $\sigma = 0$  падает под углом  $45^\circ$  на границу раздела между средой и вакуумом. Определить коэффициент отражения для волн, поляризованных плоскости падения и перпендикулярно ей.

**Тема 4. Электромагнитные поля в прямоугольном и круглом волноводах. Т-волны в направляющих системах**

4.1 Какие типы волн могут распространяться в заполненном воздухом прямоугольном волноводе сечением  $10 \times 4$  см при частоте  $f = 5$  ГГц?

4.2 Прямоугольный волновод сечением  $23 \times 10$  мм заполнен диэлектриком с относительной проницаемостью  $\varepsilon = 2,25$ . Частота колебаний  $8,4$  ГГц. Определить величины  $v_{\text{в}}$  и  $\lambda_{\text{в}}$ .

4.3 Определить критическую длину волны, критическую частоту и длину волны в прямоугольном волноводе для волны типа  $E_{11}$ . Размеры поперечного сечения  $4 \times 3$  см. Частота колебаний  $10$  ГГц.

4.4 Определить диапазон частот, в пределах которого в круглом волноводе диаметром  $4$  см может распространяться только основной тип волны.

4.5 Найти групповую скорость волны типа  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе сечением  $72 \times 34$  мм при частоте поля  $3$  ГГц.

4.6 Определить характеристическое сопротивление волны типа  $H_{10}$  в прямоугольном волноводе сечением  $72 \times 34$  мм при частоте колебаний  $3$  ГГц.

4.7 Какая максимальная мощность может быть передана по прямоугольному волноводу сечением  $23 \times 10$  мм, работающему на частоте  $10$  ГГц? Волновод заполнен воздухом, предельно допустимое значение напряженности электрического поля  $30$  кВ/см.

4.8 В каких точках сечения прямоугольного волновода с волной типа  $H_{10}$  вектор напряженности магнитного поля имеет круговую поляризацию? В какой плоскости будет вращаться вектор? Сечение волновода  $7,2 \times 3,4$  см, длина волны генератора  $10$  см.

Указание. Круговая поляризация получается в тех точках, где взаимно перпендикулярные составляющие вектора  $\vec{H}$  сдвинуты по фазе на  $90^\circ$  и имеют одинаковую амплитуду.

4.9 По линии передачи, представляющей собой прямоугольный волновод сечением  $72 \times 34$  мм и длиной  $50$  м, передаются сверхвысокочастотные импульсы с прямоугольной огибающей. Длительность импульсов  $1$  мкс, несущая частота  $3$  ГГц. Определить время запаздывания сигнала при прохождении линии.

4.10 Прямоугольный волновод сечением  $28 \times 12$  мм служит для передачи колебаний мощностью  $10$  кВт. Длина волны генератора  $3,2$  см. Определить

мощность, которая будет выделяться на участке волновода длиной 1 м, прилегающем к генератору, если волновод изготовлен из латуни.

4.11 Рассчитать погонные параметры и волновое сопротивление коаксиального кабеля марки РК-75-9-12. Параметры кабеля: диаметр внутреннего провода 1,35 мм, диаметр внешнего проводника 9,0 мм, относительная проницаемость диэлектрика  $\epsilon = 2,2$ .

4.12 Для изготовления двухпроводной симметричной воздушной линии передачи имеется провод диаметром 3 мм. Найти расстояние между проводами, обеспечивающее волновое сопротивление 600 Ом, а также погонные параметры линии.

4.12 Определить волновое сопротивление несимметричной полосковой линии передачи, если известно, что в качестве диэлектрика используется материал с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2,55$ , а погонная емкость линии 60 пФ/м.

4.13 Определить предельные размеры коаксиальной линии передачи, при которых может распространяться только волна типа Т. Длина волны передаваемых колебаний 15 см, волновое сопротивление 50 Ом. Диэлектрик – воздух.

4.14 По симметричной двухпроводной воздушной линии передачи с размерами поперечного сечения  $d = 2$  мм,  $D = 40$  мм передается мощность 2 кВт. Определить амплитуду напряжения между проводами и амплитуду тока в линии.

4.15 Определить предельную мощность, которая может быть передана по двухпроводной симметричной линии с диаметром проводов  $d = 10$  мм, если пробой происходит при напряженности электрического поля 30 кВ/см. Погонная емкость линии 8 пФ/м.

### ***Тема 5. Электромагнитные волны в объемных резонаторах***

5.1 Длина волны в гребенке равна 2,2 см при частоте генератора 10 ГГц. Определить глубину  $l$  пазов.

5.2 Длина волны в гребенке 2,6 см, длина волны генератора 4,6 см. Во сколько раз напряженность поля на расстоянии 10 мм от гребенки меньше, чем на ее поверхности?

5.3 Вдоль гребенки с глубиной пазов 9 мм распространяется волна с фазовой скоростью  $2 \cdot 10^8$  м/с. Определить частоту генератора.

5.4 Глубина пазов гребенки 6 мм, длина волны генератора 3,2 см. На каком расстоянии от гребенки напряженность поля убывает в 100 раз?

5.5 Определить фазовую скорость волны в спирали с шагом 1 мм и радиусом витков 4 мм на частоте 0,5 ГГц.

5.6 Рассчитать шаг спирали, позволяющий получить 10-кратное замедление фазовой скорости на частоте 1 ГГц. Диаметр спирали 10 мм.

5.7 Определить резонансную длину волны основного типа колебания в кубическом резонаторе со сторонами 2 см.

5.8 Определить резонансные частоты колебаний типов  $E_{010}$  и  $H_{111}$  в цилиндрическом резонаторе, диаметр и длина которого одинаковы и равны 5 см.

5.9 Какой тип колебаний является основным в прямоугольном резонаторе с размерами  $a = 2$  см,  $b = 4$  см,  $l = 3$  см? Определить его резонансную частоту. Какой тип колебаний является ближайшим высшим? Найти его резонансную частоту.

5.10 Прямоугольный объемный резонатор с резонансной длиной волны 3 см на колебании типа  $H_{102}$  образован отрезком стандартного прямоугольного волновода сечением 23 x 10 мм. Определить длину резонатора.

5.11 Найти резонансную частоту и добротность коаксиального резонатора (см. рис. 5.17), работающего на основном типе колебаний. Размеры резонатора:  $D = 25$  мм,  $d = 8$  мм,  $l = 120$  мм. Материал стенок – латунь.

5.12 Какая максимальная энергия может быть запасена в цилиндрическом объемном резонаторе, заполненном воздухом, на колебании типа  $H_{011}$ , если пробой наступает при напряженности электрического поля 30 кВ/см? Диаметр резонатора 6 см, длина 8 см.

**Тема 6. Излучение электромагнитных волн. Электрический и магнитный излучатели**

6.1 Найти ток в элементарном электрическом излучателе длиной 5 см, если в точке с координатами  $r = 1$  км,  $\theta = \pi/2$  напряженность электрического поля  $E_\theta = 10^{-4}$  В/м. Частота колебаний  $10^8$  Гц.

6.2 айти сопротивление излучения элементарного электрического излучателя при  $l_d = 5$  см и  $\lambda_0 = 3$  м. Определить мощность излучения, если амплитуда тока в излучателе равна 1 А.

6.3 пределить мощность излучения элементарной рамки с электрическим током, если на расстоянии 50 м в экваториальной плоскости создается электрическое поле с амплитудой 100 мВ/м.

6.4 пределить отношение между током в элементарном электрическом излучателе и напряжением в щелевом излучателе при условии излучения одинаковой мощности. Конфигурации обоих излучателей одинаковы.

6.5 электрической цепи существует ток с частотой 50 Гц и амплитудой 5 А. Площадь, ограниченная контуром цепи, составляет  $2 \text{ м}^2$ . Какова мощность, теряемая цепью вследствие излучения?

6.6 а рис. 6.1 изображен прямоугольный волновод, в котором прорезаны узкие щели. С помощью каких щелей при облучении их внешним полем можно возбудить волну типа  $H_{10}$  (то же, для волны  $E_{11}$ )?

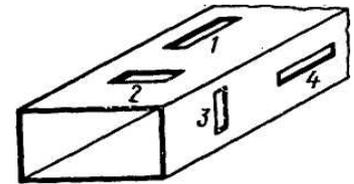


Рис.6.1

6.7 Волна типа  $H_{10}$  возбуждается в прямоугольном полубесконечном волноводе электрической рамкой с током  $I_0$ , размеры которой малы по сравнению с длиной волны  $\lambda_0$ . Площадь рамки  $S_0$ . Определить комплексную амплитуду напряженности электрического поля вдали от рамки при ее оптимальном расположении, когда поле волны типа  $H_{10}$  возбуждается с максимальной амплитудой. Волны высших типов в волноводе не распространяются.

6.8 Прямоугольный резонатор с размерами  $a$ ,  $b$ ,  $l$  возбуждается тонким штырем на резонансной частоте колебания типа  $E_{110}$  (рис. 6.2). Добротность резонатора  $Q_{E110}$  известна. Длина штыря  $l_d$ , координаты его основания  $(a/2, b/2, 0)$ .

Распределение электрического тока по штырю считать постоянным ( $I_d \ll \lambda_0$ ), амплитуда тока  $I_0$ . Определить комплексную амплитуду напряженности электрического поля в резонаторе.

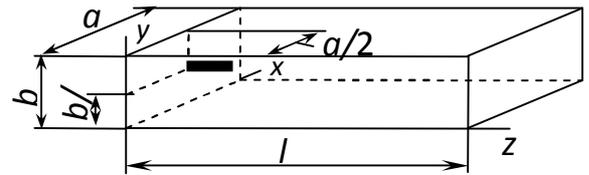


Рис. 6.2

6.9 Каково должно быть расстояние  $d$  (см. условие предыдущей задачи) для того, чтобы под углом  $\vartheta = 60^\circ$  излучение отсутствовало?

6.10 В бесконечно протяженной нити существует переменный ток с амплитудой 1,5 А. Амплитуда и фаза тока неизменные каждой точке, частота  $f = 40$  МГц. Определить амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей на расстоянии 200 м от оси в вакууме.

6.11 Вычислить ширину основного лепестка диаграммы направленности для круглого отверстия в экране при следующих параметрах:  $f = 10$  ГГц,  $a = 0,4$  м.

### ***Тема 7. Семинар. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов***

*Темы рефератов:*

Рассеяние радиоволн неоднородностями в атмосфере.

Механизмы ослабления напряженности поля в атмосфере.

Искажения радиосигналов при распространении в атмосфере.

Замирания радиосигналов и борьба с ними.

Распространение радиоволн на линиях связи спутник-Земля, Земля-спутник.

Особенности радиолокации Луны, Марса, Венеры.

Распространение радиоволн в городских условиях.

Распространение волн оптического диапазона.

Шумы и помехи (классификация, способы борьбы).

Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств.

Георазведка полезных ископаемых с помощью электромагнитных волн.

## 2.4 Темы для самостоятельного изучения

Электромагнитные волны в средах с частотной дисперсией.

Распространение импульсов в средах с частотной дисперсией.

Некоторые способы возбуждения и основы применения прямоугольных и круглых волноводов.

Поверхностные электромагнитные волны и замедляющие системы.

Некоторые способы возбуждения и включения объемных резонаторов. Пропорциональный резонатор. Понятие об открытых и диэлектрических резонаторах.

Элементарные щелевой и рамочный излучатели как примеры реализации элементарного магнитного излучателя.

Возбуждение свободного пространства нитью электрического тока.

Влияние магнитного поля Земли на распространение радиоволн в ионосфере.

Распространение радиоволн КВ диапазона с учетом влияния ионосферы.

Распространение радиоволн метрового диапазона и более коротких радиоволн в пределах и за пределами прямой видимости с учетом влияния земли и тропосферы

## 3 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Боков Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.А. Боков, В.А. Замотринский, А.Е. Мандель. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. — 410 с. — 978-5-86889-578-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72050.html>

2. Электродинамика и распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Д.Ю. Муромцев [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 448 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/50680>.

3. Андрусевич Л.К. Электродинамика и распространение радиоволн [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.К. Андрусевич, А.А. Ищук. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный

университет телекоммуникаций и информатики, 2009. — 207 с. — 2227-8397.  
— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/54807.html>

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

5. Муромцев Д.Ю. Техническая электродинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.Ю. Муромцев, О.А. Белоусов. — Электрон. текстовые данные. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012. — 116 с. — 978-5-8265-1096-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63909.html>

4. Барышников, С. В. Электродинамика [Текст] : Методика решения задач / С.В. Барышников. - Благовещенск : Изд-во Благовещ. гос. пед. ин-та, 1998. - 94 с.

#### 4 ГЛОССАРИЙ

**Атмосфера** – газообразная оболочка Земли.

**Береговая рефракция** – изменение ориентации фазового фронта радиоволны при распространении радиоволны над разнородными участками подстилающей поверхности.

**Волноводное распространение** – распространение дециметровых, сантиметровых и миллиметровых радиоволн при сверхрефракции.

**Гиромагнитная частота** – частота вращения электронов по круговым траекториям вокруг силовых линий магнитного поля.

**Гюйгенсовские вторичные источники** – фиктивные вторичные источники на сферическом волновом фронте радиоволны.

**Дальнее тропосферное распространение** – распространение радиоволн УКВ диапазона за горизонт вследствие рассеяния радиоволн на неоднородностях тропосферы.

**Двойное лучепреломление** – расщепление отраженной волны в анизотропной ионосфере на два луча.

**Диапазон радиоволн** – определенный непрерывный участок длин радиоволн, которому присвоено условное наименование.

**Дифракция радиоволн** – изменение пространственной структуры поля радио волны под влиянием препятствий, представляющих собой пространственные неоднородности среды распространения; приводит к огибанию радиоволной этих препятствий.

**Длинные радиоволны** – радиоволны длиной 1- 10 км.

**Закон секанса** – выражение, устанавливающее связь между частотами радио волн, падающих на ионосферу наклонно и вертикально.

**Земная (поверхностная) волна** – радиоволна, распространяющаяся вдоль поверхности Земли.

**Зона молчания** – кольцевая область вокруг передатчика, в которой отсутствует прием коротких радиоволн.

**Зона Френеля** – реально не существующая область пространства либо поверхности, понятие о которой вводится для удобства описания и анализа процесса распространения радиоволн.

**Индекс рефракции** – математическая величина, связанная с коэффициентом преломления среды.

**Интерференция электромагнитных волн** – явление усиления или ослабления интенсивности радиоволны, наблюдаемое при суперпозиции (сложении) когерентных, поляризованных в одной плоскости радиоволн, в зависимости от соотношения их фаз.

**Интерференционная формула** – выражение для множителя ослабления, позволяющее учесть влияние поверхности Земли на распространение радиоволн.

**Ионосферная (пространственная) волна** – радиоволна, распространяющаяся за счет отражения от ионосферы.

**Квадратичная формула Введенского** – формула, являющаяся частным случаем интерференционной, в которой амплитуда напряженности поля изме-

няется обратно пропорционально квадрату расстояния между точками излучения и приема радиоволн.

**Короткие волны** – радиоволны длиной 10 – 100 м.

**Коэффициент отражения** - отношение определенной составляющей напряженности электрического поля в отраженной радиоволне к той же самой составляющей в падающей волне.

**Критическая частота** – частота радиоволны, при которой нормально падающий луч отражается от ионосферы и коэффициент отражения равен единице.

**Луч Педерсена** – крутой луч с большим радиусом кривизны, преодолевающий заданное расстояние вдоль поверхности Земли при однократном отражении радиоволны от ионосферы.

**Магнитное поле Земли** – поле, существующее вокруг Земли и оказывающее силовое воздействие на любые электрически заряженные частицы, движущиеся в окружающем Землю пространстве, а также на любые намагниченные тела.

**Максимально применимая частота** – наивысшая частота радиоизлучения, на которой существует ионосферное распространение радиоволн между заданными пунктами в заданное время в определенных условиях.

**Метод зеркальных изображений** – метод, позволяющий учитывать влияние подстилающей поверхности на распространение радиоволн над этой поверхностью.

**Множитель ослабления** – множитель, позволяющий учесть влияние реальной среды на распространение радиоволн.

**Модуль множителя ослабления** – модуль комплексного числа (множителя ослабления).

**Необыкновенная волна** – один из лучей при двойном лучепреломлении радиоволны в анизотропной ионосфере, критическая частота которого выше критической частоты обыкновенной волны.

**Нормальная рефракция** – один из видов положительной рефракции, при которой эквивалентный радиус Земли равен 8500 км.

**Нормальная тропосфера** – тропосфера, в которой радиус кривизны траектории радиоволны является положительной величиной, равной 25000 км.

**Область прямой видимости** – часть околоземного пространства над плоскостью горизонта, проходящей через точки излучения и приема, касательной к поверхности Земли.

**Область, существенная для распространения** – область, содержащая порядка десяти зон Френеля.

**Область тени** – область пространства, расстояние до любой точки которой от точки наблюдения, больше расстояния прямой видимости

**Обыкновенная волна** – один из лучей при двойном лучепреломлении радио волны в анизотропной ионосфере, критическая частота которого ниже критической частоты необыкновенной волны.

**Оптимальная рабочая частота** – частота радиоизлучения ниже максимальной применимой частоты, на которой может осуществляться устойчивая радиосвязь в определенных геофизических условиях.

**Оптические радиоволны** – радиоволны длиной  $10^{-7} - 10^{-3}$  м.

**Отрицательная рефракция** – атмосферная рефракция радиоволн, имеющая место в тропосфере при возрастающем с высотой коэффициенте преломления воздуха.

**Параболическая аппроксимация** – приближенное аналитическое выражение для закона распределения электронной плотности в слое ионосферы.

**Плазменная частота (Ленгмюра)** – частота радиоволны, при которой диэлектрическая проницаемость ионосферы обращается в ноль.

**Поглощение (ослабление) радиоволн** – процесс уменьшения уровня радио сигнала при распространении радиоволн.

**Положительная рефракция** – атмосферная рефракция радиоволн, имеющая место в тропосфере, при убывающем с высотой коэффициенте преломления воздуха.

**Помехи в работе радиолинии** – посторонние радиосигналы, мешающие приему полезных радиосигналов.

**Приближение Борна** – предположение, позволяющее получить аналитическое выражение для коэффициента рассеяния при дальнем тропосферном распространении радиоволн.

**Приведенные высоты** – высоты антенных устройств, позволяющие учесть влияние сферичности поверхности Земли на распространение радиоволн.

**Принцип Гюйгенса – Френеля** – предположение, позволяющее решить электродинамическую задачу о форме и размерах области пространства, эффективно участвующей в передаче электромагнитной энергии от передающей к приемной антенне.

**Радиус зоны молчания** – расстояние от места расположения коротковолнового передатчика до точек, в которые не приходят поверхностные и пространственные радиоволны.

**Радиус кривизны траектории радиоволны** – величина, определяемая значением вертикального градиента индекса рефракции в тропосфере.

**Расстояние прямой видимости** – расстояние, равное длине прямой, касательной к поверхности Земли, соединяющей точки передачи и приема.

**Рефракция радиоволн** – изменение направления распространения радиоволн (искривление траектории радиоволн) вследствие изменения скорости их распространения при прохождении через неоднородную среду.

**Сверхдлинные радиоволны** – радиоволны длиной  $10^4 - 10^5$  м.

**Сверхрефракция** – положительная атмосферная рефракция, при которой индекс рефракции меньше критического индекса рефракции.

**Свистящий атмосферик** – радиосигнал, возникающий при грозовых разрядах и оказывающий мешающее действие на работу радиосистем в диапазонах сверхдлинных и длинных радиоволн.

**Скачки напряженности поля** – быстрые изменения напряженности электромагнитного поля вследствие влияния свойств подстилающей поверхности.

**Средние радиоволны** – радиоволны длиной  $10^2 - 10^3$  м.

**Турбулентное движение воздуха** – беспорядочное движение воздуха в тропосфере, приводящее к образованию вихрей различных размеров.

**Ультракороткие радиоволны** – радиоволны длиной  $10^{-3} - 10$  м.

**Уравнение траектории** – аналитическое выражение для траектории радио волны.

**Уравнение радиосвязи** – аналитическое выражение для определения напряженности или мощности электромагнитного поля в точке наблюдения.

**Участок поверхности, существенный для отражения** – участок, имеющий эллиптическую форму, вытянутый в направлении приемной антенны, образованный несколькими первыми зонами Френеля.

**Формула идеальной радиосвязи** – аналитическое выражение для определения напряженности либо мощности электромагнитного поля в точке наблюдения, расположенной в свободном пространстве.

**Численное (нормированное) расстояние** – аргумент множителя ослабления электромагнитного поля при дифракции радиоволн на земной поверхности.

**Эквивалентный радиус Земли** – величина, вводимая для учета влияния атмосферной рефракции при распространении радиоволн в неоднородной тропосфере.

**Эффект Фарадея** – явление поворота плоскости поляризации радиоволны, распространяющейся в ионосфере.

**Эхо на коротких волнах** – явление приема в точке наблюдения кроме прямой волны, пришедшей по кратчайшему пути, волны, обогнувшей поверхность Земли один или несколько раз.

## 5. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 5.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции

Очень важным является умение правильно конспектировать лекционный материал и работать с ним. Ниже приведены *рекомендации студенту по конспектированию лекций и дальнейшей работе с записями*.

1. Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к практическим (семинарским) занятиям и экзаменам. Возможно ее сочетание с записями по практическим занятиям, иллюстрирующим применение теоретических законов и соотношений в решении практических задач.

2. Конспект должен легко восприниматься зрительно (чтобы максимально использовать «зрительную» память), поэтому он должен быть аккуратным. Выделяйте заголовки, отделите один вопрос от другого, соблюдайте абзацы, подчеркните термины.

3. При прослушивании лекции обращайтесь внимание на интонацию лектора и вводные слова «таким образом», «итак», «необходимо отметить» и т.п., которыми он акцентирует наиболее важные моменты. Не забывайте пометать это при конспектировании.

4. Не пытайтесь записывать каждое слово лектора, иначе потеряете основную нить изложения и начнете писать автоматически, не вникая в смысл. Техника прочтения лекций преподавателем такова, что он повторяет свою мысль два-три раза. Постарайтесь вначале понять ее, а затем записать, используя сокращения. Конспектируйте только самое важное в рассматриваемом параграфе: формулировки определений и законов, выводы основных уравнений и формул, то, что старается выделить лектор, на чем акцентирует внимание студентов. Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. Научитесь в процессе лекции разбивать текст на смысловые части и заменять их содержание короткими фразами и формулировками. Более подробно записывайте основную информацию и кратко – дополнительную.

5. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками, используя при этом общепринятую в данном разделе физики аббревиатуру и систему сокращений. Придумайте собственную систему сокращений, аббревиатур и символов, удобную только вам (но не забудьте сделать словарь, иначе существует угроза не расшифровать текст). Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

6. Конспектируя лекцию, надо оставлять поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места. Полезно после каждой лекции оставлять одну страницу свободной, она потребуется при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников: чертежи, графики, схемы, и т.п.

7. После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать. В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

## **5.2 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям**

Практическое занятие – вид учебных занятий, направленное на приобретение первоначальных практических навыков в решении различного вида задач в рамках изучаемой темы. А умение решать задачи – важный критерий усвоения теоретического материала. Практические занятия по решению задач существенно дополняют лекции по физике.

В процессе анализа и решения задач студенты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать физические законы и формулы, разбираться в их особенностях, границах применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям. В процессе решения задач вырабатываются навыки вычисле-

ний, работы со справочной литературой, таблицами и другими источниками. Решение задач не только способствует закреплению знаний и тренировке в применении изучаемых законов, но и формирует особый стиль умственной деятельности, особый метод подхода к физическим явлениям. Последнее тесным образом связано с методологией физики как науки.

На практических занятиях используются несколько видов задач и планы их решения:

- 1) задачи для закрепления и контроля знаний;
- 2) задачи для демонстрации практического применения тех или иных законов;
- 3) нестандартные задачи и задачи повышенной сложности.

Несмотря на различие в видах задач, их решение можно проводить по следующему общему плану (некоторые пункты плана могут выпадать в некоторых конкретных случаях):

- 1) прочесть внимательно условие задачи;
- 2) посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (при затруднениях в интерпретации следует обратиться к учебнику, просмотреть решения предыдущих задач, проконсультироваться с преподавателем);
- 3) записать в сокращенном виде условие задачи;
- 4) сделать чертёж, если это необходимо (при наличии векторных величин и применении для решения задачи законов формулируемых в векторной форме, например закона сохранения импульса);
- 5) произвести анализ задачи, вскрыть её физический смысл, установить, какие физические законы и соотношения могут быть использованы при решении данной задачи;
- 6) составить уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемые явления с количественной стороны;
- 7) решить эти уравнения относительно неизвестных величин, получить ответ в общем виде. Прежде чем переходить к численным значениям, полезно

провести анализ этого решения, он поможет вскрыть такие свойства рассматриваемого явления, которые не видны в численном ответе;

8) перевести количественные величины в общепринятую систему единиц (СИ), найти численный результат;

9) проанализировать полученный ответ, выяснить, как изменяется искомая величина при изменении других величин, функцией которых она является, исследовать предельные случаи.

### **5.3 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы**

В высшей школе студент должен прежде всего сформировать потребность в знаниях и научиться учиться, приобрести навыки самостоятельной работы, необходимые для непрерывного самосовершенствования, развития профессиональных и интеллектуальных способностей. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него знаний и умений без непосредственного участия преподавателей.

При изучении дисциплин модуля «Общая физика» в самостоятельную внеаудиторную работу могут включаться следующие виды деятельности:

<i>для овладения знаниями</i>	<i>для закрепления и систематизации знаний</i>	<i>для формирования умений</i>
чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы)	работа с конспектом лекции	решение задач и упражнений по образцу
составление плана текста	повторная работа над учебным материалом	решение вариантных задач и упражнений
конспектирование текста	составление таблиц для систематизации учебного материала	выполнение расчетно-графических работ
работа со словарями и справочниками	изучение нормативных материалов	решение ситуационных профессиональных задач
работа с нормативными документами	ответы на контрольные вопросы	подготовка к выполнению физического эксперимента
научно-	аналитическая обработ-	проектирование и моде-

исследовательская работа	ка текста	лирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности
использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники, Интернет и др.	подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции	подготовка докладов по темам
создание мультимедийных презентаций	подготовка рефератов, докладов	рефлексивный анализ профессиональных умений, с использованием мультимедийной техники

Ниже представлены рекомендации по организации работы по основным видам самостоятельной внеаудиторной деятельности студентов по дисциплине.

### **5.3.1 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением**

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться учебно-методическим и другим информационным обеспечением дисциплины. Прежде чем приступить к чтению, необходимо запомнить или записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания, название интересующих глав.

Содержание (оглавление) дает представление о системе изложения ключевых положений всей публикации и помогает найти нужные сведения.

Предисловие или введение книги поможет установить, на кого рассчитана данная публикация, какие задачи ставил перед собой автор, содержится краткая информация о содержании глав работы. Иногда полезно после этого посмотреть послесловие или заключение. Это помогает составить представление о степени достоверности или научности данной книги.

Изучение научной учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей. Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект. Такие записи удлиняют процесс проработки, изучения книги, но способствуют ее лучшему осмыслению и усвоению, выработке навыков кратко и точно излагать материал. При изучении ли-

тературы особое внимание следует обращать на новые термины и понятия. Записи позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

Процесс изучения дисциплины предполагает также активное использование информационных технологий при организации своей познавательной деятельности.

Наличие огромного количества материалов в Сети и специализированных поисковых машин делает Интернет незаменимым средством при поиске информации в процессе обучения. Однако при использовании Интернет-ресурсов следует учитывать следующие рекомендации: необходимо критически относиться к информации; следует научиться обрабатывать большие объемы информации, представленные в источниках, уметь видеть сильные и слабые стороны, выделять из представленного материала наиболее существенную часть; необходимо избегать плагиата, поэтому, если текст источника остается без изменения, необходимо сделать ссылки на автора работы.

### **5.3.2 Подготовка к практическим занятиям**

При подготовке к практическому занятию студент должен проработать теоретический материал, относящийся к теме занятия. Следует изучить конспект лекции, а также конспект материала самостоятельного изучения темы или дополнительные рекомендованные преподавателем материалы. При этом необходимо выяснить физический смысл всех величин, встречающихся в конспекте лекций по данному вопросу.

При подготовке к практическому занятию студенту рекомендуется использовать лекционный материал и учебную литературу, откуда в отдельную тетрадь выписать:

- основные законы, условия их выполнения;
- пояснить физический смысл величин, входящих в закон, обозначить единицы измерения;
- привести графические иллюстрации, поясняющие физический смысл величин, входящих в закон;

- численные значения постоянных, входящих в математическую формулу закона;

- кратко перечислить практические случаи применения закона.

Такая подготовка способствует успешному ответу в ходе *письменного опроса*, который проводится преподавателем для закрепления изучаемого материала, а также при решении задач на практическом занятии.

### **5.3.3 Выполнение домашних и расчетно-графических работ**

Для успешного решения домашних задач и расчетно-графических работ необходимо просмотреть записи решений задач, выполненных в аудитории. Приступая к решению любой задачи, следует придерживаться рекомендаций, приведенных в пункте 1.2.

Домашнее задание выполняется в тетради для практических занятий, а и расчетно-графические работы оформляются на отдельных листах формата А4. На одном листе пишется полностью условие задачи, краткое условие, решение; чертежи выполняются аккуратно с использованием чертежных инструментов. Все численные данные переводятся в систему СИ. В конце пишется ответ.

### **5.3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем**

Для подготовки конспекта рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу.

При написании конспекта придерживайтесь следующих рекомендаций:

1. Прежде чем приступить к чтению, необходимо записать выходные данные издания: автор, название, издательство, год издания.
2. Внимательно прочитайте текст.
3. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.
4. Выделите главное, составьте план.
5. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.
6. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана.

При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты, учитывайте лаконичность, значимость мысли. В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения.

### **5.3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю**

*Подготовка к коллоквиуму.* Коллоквиум – одна из форм контроля полученных теоретических знаний. Коллоквиум это вид занятия, на котором обсуждаются отдельные части, разделы, темы, вопросы изучаемого курса.

При подготовке к коллоквиуму следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и отметить в нем имеющиеся вопросы коллоквиума. Если какие-то вопросы вынесены преподавателем на самостоятельное изучение, следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем.

Для лучшего усвоения основных физических законов рекомендуется прописывать формулировки и их математические интерпретации (формулы) несколько раз на отдельном листе, а затем воспроизводить в контексте ответа на вопрос.

Для самопроверки рекомендуется провести следующий опыт: при закрытой тетради и т.п., положив перед собой список вопросов для подготовки к коллоквиуму, попытаться ответить на любые вопросы из этого списка.

*Подготовка к контрольной работе.* Контрольная работа направлена на проверку умений студентов применять полученные теоретические знания в отношении определенной конкретной задачи.

Подготовка к контрольной работе включает: повторение теоретического материала по тематике контрольной работы. Особое внимание следует уделить запоминанию основных законов и примеров их применения. Для этого следует еще раз рассмотреть решения задач, которые рассматривались на практических занятиях и при решении домашних заданий или выполнении расчетно-графических работ.

*Подготовка к тестированию.* В современном образовательном процессе тестирование как новая форма оценки знаний занимает важное место.

При подготовке к тесту следует, прежде всего, просмотреть конспект лекций и практических занятий и отметить в них имеющиеся темы и практические задания, относящиеся к тематике теста. Особо следует уделить внимание содержанию тем заданных на самостоятельное изучение, так как часть вопросов в тестах может относиться именно к этим темам. Если какие – то лекционные вопросы и практические задания на определенные темы не были разобраны на занятиях (или решения которых оказались не понятными), следует обратиться к учебной литературе, рекомендованной преподавателем. Полезно самостоятельно решить несколько типичных заданий по соответствующему разделу.

При подготовке к тесту не следует просто заучивать, необходимо понять логику изложенного материала. Этому немало способствует составление развернутого плана, таблиц, схем. Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, тестирование имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно выполнить тест.

Можно дать следующие методические рекомендации:

– прежде всего, следует внимательно изучить структуру теста, оценить объем времени, выделяемого на данный тест, увидеть, какого типа задания в нем содержатся, что поможет настроиться на работу;

– лучше начинать отвечать на те вопросы, в правильности решения которых нет сомнений, пока не останавливаясь на тех, которые могут вызвать долгие раздумья, что позволит успокоиться и сосредоточиться на выполнении более трудных вопросов;

– очень важно всегда внимательно читать задания до конца, не пытаясь понять условия «по первым словам» или выполнив подобные задания в предыдущих тестированиях, так как такая спешка нередко приводит к досадным ошибкам в самых легких вопросах;

– если Вы не знаете ответа на вопрос или не уверены в правильности, следует пропустить его и отметить, чтобы потом к нему вернуться;

– думайте только о текущем задании, необходимо концентрироваться на данном вопросе и находить решения, подходящие именно к нему;

– многие задания можно быстрее решить, если не искать сразу правильный вариант ответа, а последовательно исключать те, которые явно не подходят, что позволяет в итоге сконцентрировать внимание на одном-двух вероятных вариантах;

– рассчитывать выполнение заданий нужно всегда так, чтобы осталось время на проверку и доработку (примерно 1/3-1/4 запланированного времени), что позволит свести к минимуму вероятность описок и сэкономить время, чтобы набрать максимум баллов на легких заданиях и сосредоточиться на решении более трудных, которые вначале пришлось пропустить;

– процесс угадывания правильных ответов желательно свести к минимуму, так как это чревато тем, что Вы забудете о главном: умении использовать имеющиеся накопленные в учебном процессе знания, и будете надеяться на удачу.

*Подготовка к промежуточной аттестации.* Формами промежуточной аттестации (контроля) являются экзамен и зачет. Экзамен (зачет) может проводиться в виде письменного опроса с последующим собеседованием или с применением тестирования.

Основная цель подготовки к экзамену (зачету) – достичь понимания физических законов и явлений, а не только механически заучить материал. Рекомендации по подготовке к экзаменационному (зачетному) тесту представлены выше.

Подготовка к устной сдаче экзамена (зачета) включает в себя несколько основных этапов:

- просмотр программы учебного курса;
- определение необходимых для подготовки источников (учебников, дополнительной литературы и т.д.) и их изучение;
- использование конспектов лекций, материалов практических занятий;
- консультирование у преподавателя.

Для успешной сдачи экзамена рекомендуется соблюдать несколько правил.

1. Подготовка к экзамену (зачету) начинается с первого занятия по дисциплине, на котором аспиранты получают общую установку преподавателя и перечень основных требований к текущей и промежуточной аттестации. При этом важно с самого начала планомерно осваивать материал, руководствуясь, прежде всего перечнем вопросов к экзамену, конспектировать важные для решения учебных задач источники.

2. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до экзамена (зачета). В течение этого времени нужно успеть повторить и систематизировать изученный материал.

3. За несколько дней перед экзаменом (зачетом) распределите вопросы равномерно на все дни подготовки, возможно, выделив последний день на краткий повтор всего курса.

4. Каждый вопрос следует проработать по конспекту лекций, по учебнику или учебному пособию. В процессе подготовки к экзамену (зачету) при изучении того или иного физического закона, кроме формулировки и математической записи закона, следует обратить внимание на опыты, которые обнаруживают этот закон и подтверждают его справедливость, границы и условия его применимости.

Для лучшего запоминания материала целесообразно работать с карандашом в руках, записывая выводимые формулы, изображая рисунки, схемы и диаграммы в отдельной тетради или на листах бумаги.

5. После повтора каждого вопроса нужно, закрыв конспект и учебники, самостоятельно вывести формулы, воспроизвести иллюстративный материал с последующей самопроверкой.

6. Все трудные и не полностью понятые вопросы следует выписывать на отдельный лист бумаги, с последующим уточнением ответов на них у преподавателя на консультации.

7. При ответе на вопросы билета студент должен продемонстрировать знание теоретического материала и умение применить при анализе качественных и количественных задач. Изложение материала должно быть четким, кратким и аргументированным.

### **5.3.6 Подготовка к другим видам работ**

*Подготовка реферата.* Цель реферата – раскрыть предложенную тему путем приведения каких-либо аргументов. Реферат не может содержать много идей. Он отражает только один вариант размышлений и развивает его. При написании реферата старайтесь четко отвечать на поставленный вопрос и не отклоняйтесь от темы.

Написание реферата предполагает изложение самостоятельных рассуждений по теме, выбранной студентом и связанной с тематикой курса.

Прежде чем приступить к написанию реферата, проанализируйте имеющуюся у вас информацию, а затем составьте тезисный план. Рекомендуется придерживаться следующей структуры реферата: введение, основная часть (развитие темы), заключение, библиографический список.

Введение должно включать краткое изложение вашего понимания и подход к теме реферата.

Основная часть предполагает развитие структурированной аргументации и анализа по теме, а также их логическое обоснование исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. Следует избегать повторений.

Необходимо писать коротко, четко и ясно, придерживаясь следующих требований:

- структурно выделять разделы и подразделы работы;
- логично излагать материал;
- обосновывать выводы;
- приветствуется оригинальность выводов;
- отсутствие лишнего материала, не имеющего отношение к работе;

- способность построить и доказать вашу позицию по определенным проблемам на основе приобретенных вами знаний;
- аргументированное раскрытие темы на основе собранного материала.

Заключение. В этом разделе должна содержаться информация о том, насколько удалось достичь поставленной цели. Эта часть реферата может представлять собой основные выводы по каждому разделу основной части реферата, в ней отмечается значимость выполненной работы, предложения по возможному практическому использованию результатов работы и целесообразность ее продолжения.

Библиографический список должен содержать только те источники информации, которые имеют прямое отношение к работе и использованы в ней. Библиографический список должен быть составлен в соответствии со стандартом организации по оформлению учебных работ (СТО СМК) АмГУ.

*Подготовка презентации и доклада.* Доклад – сообщение по выбранной теме. Любое устное выступление должно удовлетворять *трем основным критериям*, которые в конечном итоге и приводят к успеху:

- критерий правильности, т.е. соответствия языковым нормам;
- критерий смысловой адекватности, т.е. соответствия содержания выступления реальности;
- критерий эффективности, т.е. соответствия достигнутых результатов поставленной цели.

Докладчик должен знать и уметь: сообщать новую информацию, использовать технические средства, хорошо ориентироваться в теме, отвечать на заданные вопросы, четко выполнять установленный регламент.

Работа по подготовке устного выступления начинается с формулировки темы. Само выступление должно состоять из трех частей – вступления (10-15% общего времени), основной части (60-70%) и заключения (20-25%).

Вступление включает в себя представление авторов, название доклада, цель, задачи, актуальность темы, четкое определение стержневой идеи.

Основная часть. Раскрывается суть затронутой темы – строится по принципу отчета. Задача основной части – представить достаточно материала для раскрытия темы. План развития основной части должен быть ясным. Должно быть отобрано оптимальное количество фактов и необходимых примеров. Логическая структура строится с помощью наглядных пособий, визуальных материалов (презентаций).

Заключение – ясное, четкое обобщение и краткие выводы.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Для подготовки презентации рекомендуется использовать: PowerPoint, MSWord, AcrobatReader, LaTeX-овский пакет beamer. Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS PowerPoint.

Для подготовки презентации необходимо собрать и обработать начальную информацию. Рекомендуется придерживаться следующей последовательности подготовки презентации:

1. Четко сформулировать цель, задачи и актуальность выбранной темы.
2. Определить формат презентации.
3. Отобрать всю содержательную часть для презентации и выстроить логическую цепочку подачи информации. Обязательная информация для презентации: тема, фамилия и инициалы выступающего (на первом слайде), краткие выводы по теме доклада (на завершающем слайде).
4. Определить ключевые моменты и содержание текста и выделить их.
5. Определить виды визуализации (иллюстрации, таблицы, графики, диаграммы и т.д.) для отображения их на слайдах в соответствии с логикой, целью и спецификой информации.
6. Подобрать дизайн и форматировать слайды (количество картинок и текста, их расположение, цвет и размер). Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации, она должна содержать минимум текста, максимум изображений, несущих смысловую нагрузку, выглядеть наглядно и просто. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать

один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24, для информации - для информации не менее 18. Яркие краски, сложные цветные построения, излишняя анимация, выпрыгивающий текст или иллюстрация — не самое лучшее дополнение к научному докладу. Таблицы и диаграммы размещаются на светлом или белом фоне. Также нежелательны звуковые эффекты в ходе демонстрации презентации. Для лучшей ориентации в презентации по ходу выступления лучше пронумеровать слайды. Рекомендуемое общее число слайдов в презентации от 17 до 22.

7. Проверить визуальное восприятие презентации.

8. После подготовки презентации необходима репетиция выступления для согласования текста доклада и предоставляемой в презентации визуальной информации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потапов, Л.А. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие/ Л.А.Потапов. – Брянск: БГТУ, 2009. – 200 с.
2. Яманов, Д.Н. Электродинамика и распространение радиоволн: пособие по изучению дисциплины / Яманов Д.Н., Дивеев В.Н. - М.: МГТУ ГА, 2015. - 20 с.
3. Сборник задач по курсу «Электродинамика и распространение радиоволн»: Учеб. пособие / Баскаков С. И., Карташев В. Г., Лобов Г. Д. и др.; Под.ред. С.И. Баскакова. – М.: Высш. школа, 1981. – 208 с.
4. Рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Е.М. Емышева [и др.].– Москва: Изд-во РГТУ, 2013.– 125 с. – Режим доступа:  
<https://www.rsuh.ru/upload/iblock/c70/c70c10002f5932ab48798aae10f5a351.do>
5. Методические рекомендации при подготовке к занятиям по физике (лекциям практике, решения задач, лабораторным работам) [Электронный ресурс]: учебно-метод. пособие / Е. А. Попкова.– Рыбинск: ООО Изд-во «РМП», 2009. – 54 с. – Режим доступа: <http://www.rsatu.ru/sites/physics/?doc=1491334469>
6. Лызь, Н.А. Тенденции развития высшего образования [Электронный ресурс]: учебно-метод. пособие / Н.А Лызь, А.Е. Лызь. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 48 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/2332317/>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Содержание дисциплины	5
2 Содержание практических (семинарских) занятий	8
2.1 Темы практических (семинарских) занятий	8
2.2 Вопросы для самопроверки при подготовке к практическим занятиям	8
2.3 Задачи для практических занятий и самостоятельного решения	14
2.4 Темы для самостоятельного изучения	23
3 Рекомендуемая литература	23
4 Глоссарий	24
5. Организация занятий по дисциплине	30
5.1 Общие рекомендации по организации работы на лекции	30
5.2 Общие рекомендации по подготовке к практическим занятиям	31
5.3 Общие рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы	33
5.3.1 Работа с учебно-методическим и информационным обеспечением	34
5.3.2 Подготовка к практическим занятиям	35
5.3.3 Выполнение домашних и расчетно-графических работ	36
5.3.4 Самостоятельное изучение и конспектирование отдельных тем	36
5.3.5 Подготовка к текущему и промежуточному контролю	37
5.3.6 Подготовка к другим видам работ	41
Библиографический список	45

**Оксана Васильевна Зотова,**  
*доцент кафедры физики АмГУ, канд. физ.-мат. наук;*