

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Физико-технический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор

Хагуров Т.А.

Подпись

« 5 »

2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б1.О.19 Электромагнитные поля и волны**

*(код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)*

Направление подготовки/специальность 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи  
*(код и наименование направления подготовки/специальности)*

Направленность (профиль) / специализация Оптические системы и сети связи  
*(наименование направленности (профиля) / специализации)*

Форма обучения заочная  
*(очная, очно-заочная, заочная)*

Квалификация бакалавр

Краснодар 2023

## Рабочая программа дисциплины Б1.О.19 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ВОЛНЫ

составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки / специальности 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи профиль «Оптические системы и сети связи»

код и наименование направления подготовки

Программу составил(и):

В.В. Галуцкий, доцент, к.ф.-м.н.,  
доцент



Рабочая программа дисциплины Б1.О.19 Электромагнитные поля и волны  
утверждена на заседании кафедры  
протокол № « » \_\_\_\_\_ 2023 г.  
заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-  
технического факультета  
протокол № « » \_\_\_\_\_ 2023 г.  
Председатель УМК факультета,  
д.ф.-м.н., профессор Богатов Н.М. \_\_\_\_\_

Рецензенты:

Бабенко И.Д., ведущий специалист ПАО «ГИПРОСВЯЗЬ»  
Понетаева И.Г., старший инженер ПАО МТС

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины (модуля)

### 1.1 Цель освоения дисциплины

приобретение знаний по распространению электромагнитных волн, как в свободном пространстве, так и в конкретных средах, понимание особенностей взаимодействия электромагнитных волн со средой распространения, умение оценивать результаты распространения электромагнитных волн различных диапазонов в свободном пространстве и в земных условиях.

### 1.2 Задачи дисциплины

Изучение основных понятий и уравнений физики электромагнитных волн, явлений, связанных с распространением электромагнитных волн, а также приобретение навыков решения задач по данной дисциплине.

Формирование компетенций (ОПК-1), способствующих свободному владению соответствующим разделом физики и техники, и развитие навыков самостоятельной работы.

### 1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Б1.О.19 Электромагнитные поля и волны» относится к обязательной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" учебного плана направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи направленности "Оптические системы и сети связи".

Для успешного усвоения дисциплины «Б1.О.19 Электромагнитные поля и волны» студенты должны обладать базовыми знаниями и умениями по предшествующим дисциплинам «Математический анализ», «Дифференциальные, интегральные уравнения и вариационное исчисление», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Электричество и магнетизм».

«Б1.О.19 Электромагнитные поля и волны» служит основой для понимания специальных дисциплин, изучаемых по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи как в бакалавриате, так и далее в магистратуре и в аспирантуре. Студент, освоивший данный курс, подготовлен к деятельности, требующей углубленной фундаментальной и профессиональной подготовки, в том числе к научно – исследовательской, а при сочетании освоения дополнительной образовательной программы педагогического профиля – к педагогической деятельности.

Вид промежуточной аттестации: экзамен.

### 1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование индикатора*	Результаты обучения по дисциплине ( <i>знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности)</i> )
<b>ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>	
ИОПК-1.1. Знает фундаментальные законы природы и основные физические математические законы и методы накопления, передачи и обработки информации	Знает методы и способы решения исследовательских задач, методики и способы проведения эксперимента, методы математической статистики.
	Умеет использовать информационные ресурсы, научную, опытно-экспериментальную и приборную базу для проведения исследований в радиофизике, использовать информационные ресурсы при разработке методик и освоению новых методов научных исследований, анализировать полученные в опытах результаты с использованием методов математической статистики.
	Владеет навыками формулирования результатов, полученных в ходе решения исследовательских задач новыми методами исследования, навыками

Код и наименование индикатора*	Результаты обучения по дисциплине ( <i>знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности)</i> )
	формулирования результатов, полученных в ходе решения исследовательских задач.
ИОПК-1.2. Способен применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера	Знает основные методы и средства обработки результатов экспериментов
	Умеет определять требуемые методы и способы обработки результатов экспериментов
	Владеет практической обработки результатов экспериментов
ИОПК-1.3. Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач.	Знает уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией
	Умеет учитывать условия отражения и преломления волн на границе раздела
	Владеет операциями векторного анализа для электромагнитного поля

*\*Вид индекса индикатора соответствует учебному плану.*

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице

Виды работ	Всего часов	Форма обучения			
		очная		очно-заочная	заочная
		4 семестр (часы)	X семестр (часы)	X семестр (часы)	X курс (часы)
<b>Контактная работа, в том числе:</b>	<b>60,3</b>	<b>60,3</b>			
<b>Аудиторные занятия (всего):</b>					
занятия лекционного типа	16	16			
лабораторные занятия	30	30			
практические занятия	14	14			
семинарские занятия					
<b>Иная контактная работа:</b>					
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4			
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3			
<b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>	<b>17</b>	<b>17</b>			
Курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)					
Контрольная работа					
Расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)					
Реферат/эссе (подготовка)					
Самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам и т.д.)	17	17			

Подготовка к текущему контролю					
<b>Контроль:</b>					
Подготовка к экзамену	26,7	26,7			
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>час.</b>	<b>108</b>	<b>108</b>		
	<b>в том числе контактная работа</b>	<b>60,3</b>	<b>60,3</b>		
	<b>зач. ед</b>	<b>3</b>	<b>3</b>		

## 2.2 Содержание дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.  
Разделы (темы) дисциплины, изучаемые в 5 семестре

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа СРС
			Л	ПЗ	ЛР	
1.	Введение. Исходные понятия и используемый математический аппарат	18	4	2	8	4
2.	Основные законы теории электромагнитного поля	20	4	4	8	4
3.	Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Дифракция и отражение радиоволн.	20	4	4	8	4
4.	Электромагнитные волны в направляющих системах и поля резонаторах	21	4	4	8	5
	<i>ИТОГО по разделам дисциплины</i>	79	16	14	30	17
	Контроль самостоятельной работы (КСР)	4				
	Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3				
	Подготовка к текущему контролю	26,7				
	Общая трудоемкость по дисциплине	108				

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента

**Курсовой проект:** не предусмотрен

**Форма проведения аттестации по дисциплине:** экзамен

## 2.3 Содержание разделов (тем) дисциплины

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1.	Введение. Исходные понятия и используемый математический аппарат	Определение электромагнитного поля и его физических величин. Математический аппарат теории электромагнитного поля. Физические величины, характеризующие электромагнитное поле. Источники электромагнитного поля. Макроскопическая теория электромагнитного поля; единицы измерения электромагнитных величин в СИ; поля и операции векторного анализа: векторы и действия над ними, поле и операции векторного анализа. Пространственные дифференциальные операторы в теории поля.	<i>Ответы на контрольные вопросы и задания</i>
2.	Основные законы теории электромагнитного поля	Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в диэлектрике и проводящей среде. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления. Диэлектрические потери. Поток энергии электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Закон сохранения энергии. Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения	<i>Ответы на контрольные вопросы и задания</i>

		на границу раздела. Угол Брюстера. Предельный угол полного отражения.	
3.	Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Дифракция и отражение радиоволн.	Распространение электромагнитных волн в среде с дисперсией: зависимость от частоты фазовой скорости и амплитуды. Комплексное волновое число. Пространственная дисперсия. Уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией. Волновой вектор, магнитная проницаемость, проводимость. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Комплексный вектор поляризации среды. Распространение волн в средах со свободными зарядами. Плазма. Диэлектрическая проницаемость и проводимость при наличии подвижных зарядов. Плазменная частота. Поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы.	<i>Ответы на контрольные вопросы и задания</i>
4.	Электромагнитные волны в направляющих системах и поля резонаторах	Внешняя и внутренняя граничные задачи; первичное и вторичное электромагнитные поля. Постановка и решение граничной задачи о возбуждении волн в прямоугольном волноводе. Характеристики волн в прямоугольном волноводе; критическая длина волны. Избирательные свойства прямоугольного волновода. Волна основного типа. Постановка и решение граничных задач о возбуждении волн в круглом волноводе. Характеристики волн в круглом волноводе. Волна основного типа. Волны основного типа в коаксиальной линии и в микрополосковой линии. Постановка и решение граничных задач о возбуждении поля в прямоугольном резонаторе; типы колебаний, собственные резонансные частоты. Колебание основного типа в прямоугольном, цилиндрическом и коаксиальном резонаторах	<i>Ответы на контрольные вопросы и задания</i>

### 2.3.2 Занятия семинарского типа (лабораторные работы)

№	Наименование раздела (темы)	Тематика занятий/работ	Форма текущего контроля
1.	Введение. Исходные понятия и используемый математический аппарат	Лабораторная работа 1: Элементы векторного и тензорного анализа	<i>Защита лабораторной работы</i>
2.	Основные законы теории электромагнитного поля	Лабораторная работа 2: Статистические и стационарные электромагнитные поля, квазистатические электромагнитные поля, плоские электромагнитные волны, распространение электромагнитных волн в различных средах	<i>Защита лабораторной работы</i>
3.	Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Дифракция и отражение радиоволн.	Лабораторная работа 3: Электромагнитные волны с частотной дисперсией, распространение волн в средах со свободными зарядами, поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы	<i>Защита лабораторной работы</i>
4.	Электромагнитные волны в направляющих системах и поля резонаторах	Лабораторная работа 4: Линии передачи с волнами типа Т; объемные резонаторы; элементарные излучатели, волноводы, поверхностные электромагнитные волны и замедляющие структуры	<i>Защита лабораторной работы</i>

### 2.3.3 Занятия семинарского типа (практические занятия)

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
	Введение. Исходные понятия и используемый математический аппарат	Определение электромагнитного поля и его физических величин. Математический аппарат теории электромагнитного поля. Физические величины, характеризующие электромагнитное поле.	<i>Ответы на контрольные вопросы и задания</i>

		Пространственные дифференциальные операторы в теории поля.	
2.	Основные законы теории электромагнитного поля	Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в диэлектрике и проводящей среде. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления. Вектор Умова-Пойнтинга. Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения на границу раздела. .	<i>Ответы на контрольные вопросы и задания</i>
3.	Особенности распространения радиоволн различных диапазонов. Дифракция и отражение радиоволн.	Распространение электромагнитные волн в среде с дисперсией: зависимость от частоты фазовой скорости и амплитуды. Комплексное волновое число. Уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией. Волновой вектор, магнитная проницаемость, проводимость. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Комплексный вектор поляризация среды.	<i>Ответы на контрольные вопросы и задания</i>
4.	Электромагнитные волны в направляющих системах и поля резонаторах	Внешняя и внутренняя граничные задачи; первичное и вторичное электромагнитные поля. Постановка и решение граничной задачи о возбуждении волн в прямоугольном волноводе. Постановка и решение граничных задач о возбуждении волн в круглом волноводе. Постановка и решение граничных задач о возбуждения поля в прямоугольном резонаторе; типы колебаний, собственные резонансные частоты. Колебание основного типа в прямоугольном, цилиндрическом и коаксиальном резонаторах	<i>Ответы на контрольные вопросы и задания</i>

Защита лабораторной работы (ЛР), выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР), расчетно-графического задания (РГЗ), написание реферата (Р), эссе (Э), коллоквиум (К), тестирование (Т) и т.д.

При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение, дистанционные образовательные технологии в соответствии с ФГОС ВО.

### 2.3.3 Примерная тематика курсовых работ (проектов) не предусмотрены

### 2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	Самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам и т.д.)	Методические указания по организации аудиторной и самостоятельной работ, утвержденные кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий, протокол № 9 от «14» марта 2017г
2	Подготовка к текущему контролю	Методические рекомендации для подготовки к практическим, семинарским и лабораторным занятиям,

	утвержденные кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий, протокол № 9 от «14» марта 2017г
--	--

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

### **3. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины (модуля)**

В ходе изучения дисциплины предусмотрено использование следующих образовательных технологий: лекции, практические занятия, проблемное обучение, модульная технология, подготовка письменных аналитических работ, самостоятельная работа студентов.

Компетентностный подход в рамках преподавания дисциплины реализуется в использовании интерактивных технологий и активных методов (проектных методик, мозгового штурма, разбора конкретных ситуаций, анализа педагогических задач, педагогического эксперимента, иных форм) в сочетании с внеаудиторной работой.

Информационные технологии, применяемые при изучении дисциплины: использование информационных ресурсов, доступных в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Адаптивные образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины – для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

### **4.Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Б1.В.02 Распространение электромагнитных волн (Физика волновых процессов)».

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме отчетов по лабораторным работам и **промежуточной аттестации** в форме вопросов к экзамену.

#### **Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации**

№ п/п	Код и наименование индикатора (в соответствии с п. 1.4)	Результаты обучения (в соответствии с п. 1.4)	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация



1	<p>ИОПК-1.1. Знает фундаментальные законы природы и основные физические математические законы и методы накопления, передачи и обработки информации</p>	<p>Знает методы и способы решения исследовательских задач, методики и способы проведения эксперимента, методы математической статистики. Умеет использовать информационные ресурсы, научную, опытно-экспериментальную и приборную базу для проведения исследований в радиофизике, использовать информационные ресурсы при разработке методик и освоению новых методов научных исследований, анализировать полученные в опытах результаты с использованием методов математической статистики. Владеет навыками формулирования результатов, полученных в ходе решения исследовательских задач новыми методами исследования, навыками формулирования результатов, полученных в ходе решения исследовательских задач.</p>	<p>Лабораторные работы с 1-4 Контрольная работа – по теме, разделу Опрос</p>	<p>Вопрос на экзамене 1-10</p>
2	<p>ИОПК-1.2. Способен применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера</p>	<p>Знает основные методы и средства обработки результатов экспериментов Умеет определять требуемые методы и способы обработки результатов экспериментов Владеет практической обработкой результатов экспериментов</p>	<p>Лабораторные работы с 1-4 Контрольная работа – по теме, разделу Опрос</p>	<p>Вопрос на экзамене 11-20</p>
3	<p>ИОПК-1.3. Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач.</p>	<p>Знает уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией Умеет учитывать условия отражения и преломления волн на границе раздела Владеет операциями векторного анализа для электромагнитного поля</p>	<p>Лабораторные работы с 1-4 Контрольная работа – по теме, разделу Опрос</p>	<p>Вопрос на экзамене 21-30</p>

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**Примерный перечень вопросов и заданий**

Контрольные вопросы

1. Понятие волнового процесса. Амплитудные, фазовые соотношения. Волновое уравнение. Гармонические волны. Уравнение Гельмгольца. Комплексное волновое число.
2. Плоские волны в однородной и изотропной среде. Общее решение волнового уравнения. Фаза волны. Разложение на гармонические составляющие. Волновой вектор в комплексном представлении.
3. Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в диэлектрике и проводящей среде. Понятие импеданса.
4. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления. Диэлектрические потери. Предельные случаи малых и больших потерь. Глубины проникновения волн внутрь среды.
5. Поток энергии электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Закон сохранения энергии.
6. Закон сохранения энергии при адиабатическом распространении звуковой волны. Плотность потока энергии упругой волны.
7. Поляризация электромагнитных волн. Множитель поляризации. Физический смысл параметров Стокса.
8. Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения на границу раздела. Угол Брюстера. Предельный угол полного отражения. Структура поля электромагнитные волны при полном внутреннем отражении. Изменение амплитуды, фазы и поляризации волны.
9. Свойства электромагнитные волны при прохождении границы раздела диэлектрик - проводник.
10. Применение приближенных граничных условий Леонтовича при распространении волн над проводящей поверхностью. Расчет коэффициента Френеля для горизонтально поляризованных волн.
11. Распространение электромагнитные волн в среде с дисперсией: зависимость от частоты фазовой скорости и амплитуды. Комплексное волновое число. Пространственная дисперсия. Уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией. Волновой вектор, магнитная проницаемость, проводимость.
12. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Комплексный вектор поляризации среды.
13. Связь между дисперсией и поглощением. Частотный спектр. Вывод и анализ соотношений Крамерса-Кронинга.
14. Дисперсия при распространении в диэлектриках. Учет поляризации среды. Модель Друде-Лоренца. Дисперсия и поглощение вблизи резонансных частот. Дисперсионная формула.
15. Распространение волн в средах со свободными зарядами. Плазма. Диэлектрическая проницаемость и проводимость при наличии подвижных зарядов. Плазменная частота. Поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы.
16. Учет пространственной дисперсии среды: Негиротропные среды. Материальные уравнения. Анализ зависимости дисперсии от волнового вектора. Тензор диэлектрической проницаемости.

17. Учет пространственной дисперсии среды: Гиrotропные среды. Анализ поведения продольных и поперечных волн вблизи резонансных частот. Эффект Фарадея.
18. Электромагнитные волны в анизотропных средах: Общие закономерности. Взаимное расположение векторов  $E$ ,  $H$ ,  $k$ . Дисперсионное уравнение.
19. Структура поля над проводящей плоскостью для волн магнитного и электрического типа. Двухплоскостной волновод.
20. Открытые и закрытые линии передачи. Основные требования к линиям передачи.
21. Поля различных типов волн в волноводах. Режимы в волноводах.
22. Затухание волн в волноводах. Отражения в линиях передачи и необходимость их согласования.
23. Выбор размеров волновода по заданному диапазону рабочих частот и типу волны. Предельная и допустимая мощности в волноводе.
24. Максимально допустимая длина волноводной линии передачи. Методы возбуждения поля в волноводах.

Примерные задания для контрольной работы.

1. Плазменная частота.
2. Свободное распространение радиоволн.
3. Критическая частота для слоя ионосферы.
4. Влияние шероховатости отражающей поверхности.
5. Распространение электромагнитных волн при наличии экранирующих препятствий.
6. Распространение электромагнитных волн при антеннах, поднятых над плоской Землей в случае горизонтально поляризованной волны.
7. Распространение электромагнитных волн при антеннах, поднятых над плоской Землей в случае вертикально поляризованной волны.
8. Поверхностное распространение электромагнитных волн.
9. Напряженность поля электромагнитных волн, распространяющихся вдоль земной поверхности.
10. Распространение электромагнитных волн вдоль неоднородной трассы.
11. Условия прохождения электромагнитных волн.
12. Береговая рефракция.
13. Влияние сферичности отражающей поверхности
14. Распространение электромагнитных волн в тропосфере.
15. Атмосферная рефракция
16. Эквивалентный радиус Земли.
17. Виды атмосферной рефракции.
18. Поток энергии.
19. Вектор Умова-Пойнтинга.
20. Структура плоской и гармонической электромагнитной волны в изотропных средах.
21. Магнитоактивная плазма.
22. Двойное лучепреломление.
23. Поляризация электромагнитной волны.
24. Поглощение электромагнитных волн.
25. Тангенс угла потерь.
26. Структура электромагнитных волн в анизотропных средах.
27. Структура электромагнитных волн в магнитоактивной плазме.
28. Дисперсия. Частотная и пространственная.

Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа 1: Элементы векторного и тензорного анализа.

Лабораторная работа 2: Статистические и стационарные электромагнитные поля, квазистатические электромагнитные поля, плоские электромагнитные волны, распространение электромагнитных волн в различных средах.

Лабораторная работа 3: Электромагнитные волны с частотной дисперсией, распространение волн в средах со свободными зарядами, поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы.

Лабораторная работа 4: Линии передачи с волнами типа Т; объемные резонаторы; элементарные излучатели, волноводы, поверхностные электромагнитные волны и замедляющие структуры.

Вопросы для самостоятельной работы

1. Определение, основные характеристики и особенности электромагнитных волн.
2. Диапазоны электромагнитных волн.
3. Диапазоны электромагнитных волн радиодиапазона.
4. Влияние Земли на распространение электромагнитных волн.
5. Энергия электромагнитной волны и электромагнитная безопасность.
6. Волновые процессы, волновые уравнения.
7. Уравнение Гельмгольца.
8. Плоские волны в изотропной среде. Канонические волновые уравнения. Интерпретация решения для плоской волны.
9. Диэлектрическая проницаемость магнитоактивной плазмы.
10. Однородные и неоднородные плоские волны.
11. Структура электромагнитной волны.
12. Электромагнитные волны в изотропных средах. Вывод волнового уравнения.
13. Поток энергии. Вектор Умова-Пойнтинга.
14. Структура плоской и гармонической электромагнитной волны в изотропных средах.
15. Магнитоактивная плазма.
16. Двойное лучепреломление.
17. Поляризация электромагнитной волны.
18. Поглощение электромагнитных волн. Тангенс угла потерь.
19. Структура электромагнитных волн в анизотропных средах.
20. Структура электромагнитных волн в магнитоактивной плазме.
21. Дисперсия. Частотная и пространственная.
22. Плазменная частота.
23. Свободное распространение радиоволн.
24. Критическая частота для слоя ионосферы.
25. Вывод волнового уравнения электромагнитной волны в плазме; случай плоскослоистой среды.
26. Распространение электромагнитных (радиоволн) в плазме.
27. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах. Структура волны.
28. Групповая скорость электромагнитных волн.
29. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на плоской границе раздела.
30. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела земля-воздух. Коэффициент отражения вертикально поляризованной волны.
31. Отражение и преломление плоских электромагнитных волн на границе раздела земля-воздух. Коэффициент отражения горизонтально поляризованной волны.
32. Распространение электромагнитных волн в диспергирующих средах

33. Дисперсия и волновые пакеты
34. Физические причины, приводящие к появлению дисперсии
35. Распространение сигнала (волнового пакета) в диспергирующей среде.
36. Дисперсия и волновые пакеты. Связь фазовой и групповой скорости
37. Распространение электромагнитных волн в плазме
38. Диэлектрическая проницаемость плазмы.
39. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах
40. Принцип Гюйгенса и зоны Френеля
41. Отражение электромагнитных волн от поверхности плоской Земли
42. Влияние шероховатости отражающей поверхности
43. Распространение электромагнитных волн при наличии экранирующих препятствий
44. Распространение электромагнитных волн при антеннах, поднятых над плоской Землей в случае горизонтально поляризованной волны.
45. Распространение электромагнитных волн при антеннах, поднятых над плоской Землей в случае вертикально поляризованной волны.
46. Поверхностное распространение электромагнитных волн.
47. Напряженность поля электромагнитных волн, распространяющихся вдоль земной поверхности.
48. Взлетная и посадочная площадки.
49. Распространение электромагнитных волн вдоль неоднородной трассы.
50. Береговая рефракция.
51. Влияние сферичности отражающей поверхности
52. Распространение электромагнитных волн в тропосфере
53. Атмосферная рефракция
54. Эквивалентный радиус Земли
55. Виды атмосферной рефракции

**Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (экзамен)**

1. Понятие волнового процесса. Амплитудные, фазовые соотношения. Волновое уравнение. Гармонические волны. Уравнение Гельмгольца. Комплексное волновое число.
2. Плоские волны в однородной и изотропной среде. Общее решение волнового уравнения. Фаза волны. Разложение на гармонические составляющие. Волновой вектор в комплексном представлении.
3. Уравнения Максвелла в однородной и изотропной среде, материальные уравнения в диэлектрике и проводящей среде. Понятие импеданса.
4. Плоские гармонические волны в однородной среде, показатели поглощения и преломления. Диэлектрические потери. Предельные случаи малых и больших потерь. Глубины проникновения волн внутрь среды.
5. Поток энергии электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Закон сохранения энергии.
6. Поляризация электромагнитных волн. Множитель поляризации. Физический смысл параметров Стокса.
7. Отражение и преломление волн на границе раздела. Зависимость модулей и фаз коэффициентов Френеля от угла падения на границу раздела. Угол Брюстера. Предельный угол полного отражения. Структура поля электромагнитные волны при полном внутреннем отражении. Изменение амплитуды, фазы и поляризации волны.
8. Распространение электромагнитные волн в среде с дисперсией: зависимость от частоты фазовой скорости и амплитуды. Комплексное волновое число. Пространственная

дисперсия. Уравнения Максвелла для среды с пространственной дисперсией. Волновой вектор, магнитная проницаемость, проводимость.

9. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Комплексный вектор поляризации среды.

10. Связь между дисперсией и поглощением. Частотный спектр. Дисперсия при распространении в диэлектриках. Учет поляризации среды. Модель Друде-Лоренца. Дисперсия и поглощение вблизи резонансных частот. Дисперсионная формула.

11. Распространение волн в средах со свободными зарядами. Плазма. Диэлектрическая проницаемость и проводимость при наличии подвижных зарядов.

12. Плазменная частота. Поглощение электромагнитной волны при отражении и прохождении слоя плазмы.

13. Распространение квазимонохроматической волны (волнового пакета) в среде с дисперсией. Разложение в спектр. Фазовая и групповая скорости. Расплывание волнового пакета.

14. Энергия электромагнитного поля в диспергирующей среде. Объемная плотность потока энергии.

15. Электромагнитные волны в анизотропных средах: Общие закономерности. Взаимное расположение векторов  $E$ ,  $H$ ,  $k$ . Дисперсионное уравнение.

16. Электромагнитные волны в анизотропных средах: плоские волны в кристаллах. Дисперсионное уравнение Френеля. Поляризация волн. Лучевой вектор. Тензорный эллипсоид.

17. Оптические свойства кристаллов. Одноосный двуосный кристаллы. Лучевые поверхности. Фазовая и групповые скорости.

18. Преломление плоской волны на границе раздела. Законы преломления обыкновенной и необыкновенной волн.

19. Электромагнитные волны в магнитоактивных средах. Понятия гироэлектрической и гиромагнитной сред. Тензор диэлектрической проницаемости.

20. Распространение плоских высокочастотных волн в магнитоактивной плазме. Показатель преломления. Множитель поляризации.

21. Зависимость показателя преломления и множителя поляризации от направления распространения волны в плазме. Случаи продольного и поперечного распространения.

22. Структура поля над проводящей плоскостью для волн магнитного и электрического типа. Двухплоскостной волновод.

23. Поля различных типов волн в волноводах. Режимы в волноводах.

24. Затухание волн в волноводах. Отражения в линиях передачи и необходимость их согласования.

25. Выбор размеров волновода по заданному диапазону рабочих частот и типу волны. Предельная и допустимая мощности в волноводе.

26. Максимально допустимая длина волноводной линии передачи. Методы возбуждения поля в волноводах.

27. Линии передачи с волной типа Т. Уравнение Лапласа. Энергетические параметры линии передачи с волной типа Т.

28. Объемные резонаторы. Назначение резонаторов. Виды резонаторов. Свойства резонаторов.

29. Поля различных типов колебаний в резонаторах. Правила графического изображения поля резонатора.

30. Собственные и резонансные частоты резонаторов. Добротность резонаторов.

### Критерии оценивания результатов обучения

Оценка	Критерии оценивания по экзамену
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без

	<i>пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.</i>
<i>Средний уровень «4» (хорошо)</i>	<i>оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.</i>
<i>Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)</i>	<i>оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.</i>
<i>Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)</i>	<i>оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.</i>

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

## **5. Перечень учебной литературы, информационных ресурсов и технологий**

### **5.1. Учебная литература**

1. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебник для вузов: - М.: Радио и связь. 2007. 559 с.

2. Муромцев Д.Ю. Электродинамика и распространение радиоволн: Учебное пособие. - СПб.: Лань 2014

3. Гильденбург В.Б., Миллер М.А. Сборник задач по электродинамике: учебное пособие. - М.: Физматлит 2001. - 168с.

## 5.2. Периодическая литература

Указываются печатные периодические издания из «Перечня печатных периодических изданий, хранящихся в фонде Научной библиотеки КубГУ» <https://www.kubsu.ru/ru/node/15554>, и/или электронные периодические издания, с указанием адреса сайта электронной версии журнала, из баз данных, доступ к которым имеет КубГУ:

1. Базы данных компании «Ист Вью» <http://dlib.eastview.com>
2. Электронная библиотека GREBENNIKON.RU <https://grebennikon.ru/>
3. ScienceDirect – ведущая информационная платформа Elsevier <https://www.elsevier.com/>
4. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
5. Известия высших учебных заведений. Радиофизика.
6. Информатизация и связь
7. Успехи физических наук
8. Журнал экспериментальной и теоретической физики
9. Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики"
10. Радиотехника и электроника

## 5.3. Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

### Электронно-библиотечные системы (ЭБС):

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com)
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

### Профессиональные базы данных:

1. Web of Science (WoS) <http://webofscience.com/>
2. Scopus <http://www.scopus.com/>
3. ScienceDirect [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
4. Журналы издательства Wiley <https://onlinelibrary.wiley.com/>
5. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
6. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>
7. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
8. Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина <https://www.prilib.ru/>
9. Электронная коллекция Оксфордского Российского Фонда <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kubanstate/home.action>
10. Springer Journals <https://link.springer.com/>
11. Nature Journals <https://www.nature.com/siteindex/index.html>
12. Springer Nature Protocols and Methods <https://experiments.springernature.com/sources/springer-protocols>
13. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
14. zbMath <https://zbmath.org/>
15. Nano Database <https://nano.nature.com/>
16. Springer eBooks: <https://link.springer.com/>



17. "Лекториум ТВ" <http://www.lektorium.tv/>
18. Университетская информационная система РОССИЯ <http://uisrussia.msu.ru>

#### **Информационные справочные системы:**

1. Консультант Плюс - справочная правовая система (доступ по локальной сети с компьютеров библиотеки)

#### **Ресурсы свободного доступа:**

1. Американская патентная база данных <http://www.uspto.gov/patft/>
2. Полные тексты канадских диссертаций <http://www.nlc-bnc.ca/thesescanada/>
3. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
4. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://www.minobrnauki.gov.ru/>;
5. Федеральный портал "Российское образование" <http://www.edu.ru/>;
6. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru/>;
7. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school-collection.edu.ru/> .
8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://fcior.edu.ru/>);
9. Проект Государственного института русского языка имени А.С. Пушкина "Образование на русском" <https://pushkininstitute.ru/>;
10. Справочно-информационный портал "Русский язык" <http://gramota.ru/>;
11. Служба тематических толковых словарей <http://www.glossary.ru/>;
12. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/>;
13. Образовательный портал "Учеба" <http://www.uceba.com/>;
14. Законопроект "Об образовании в Российской Федерации". Вопросы и ответы [http://xn--273--84d1f.xn--plai/voprosy\\_i\\_otvety](http://xn--273--84d1f.xn--plai/voprosy_i_otvety)

#### **Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы**

##### **КубГУ:**

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru;>
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>
5. Электронные образовательные ресурсы кафедры информационных систем и технологий в образовании КубГУ и научно-методического журнала "ШКОЛЬНЫЕ ГОДЫ" <http://icdau.kubsu.ru/>

#### **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Лекция является одной из форм изучения теоретического материала по дисциплине. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных подходов и теорий. В тетради для конспектирования лекций необходимо иметь поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. Записи должны быть избирательными. В конспекте применяют сокращение слов, что ускоряет запись.

Вопросы, возникающие в ходе лекции, если не заданы сразу, рекомендуется записывать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснением к преподавателю. Необходимо активно работать с конспектом лекции: после окончания лекции рекомендуется перечитать свои записи, внести поправки и дополнения.

Одним из основных видов деятельности студента является самостоятельная работа, которая включает в себя изучение лекционного материала, учебников и учебных пособий, подготовки к выполнению лабораторных работ и оформлению технических отчётов по ним, а так же подготовки к практическим занятиям изучением краткой теории в задачниках и решении домашних заданий. Методика самостоятельной работы предварительно разъясняется преподавателем и в последующем может уточняться с учетом индивидуальных особенностей студентов. Время и место самостоятельной работы выбираются студентами по своему усмотрению планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять равномерно на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Самостоятельную работу над дисциплиной следует начинать с изучения программы, которая содержит основные требования к знаниям, умениям и навыкам обучаемых. Обязательно следует вспомнить рекомендации преподавателя, данные в ходе установочных занятий. Затем следует приступать к изучению отдельных разделов и тем в порядке, предусмотренном программой. Получив представление об основном содержании раздела, темы, необходимо изучить материал по теме, изложенный в учебнике. Целесообразно составить краткий конспект или схему, отображающую смысл и связи основных понятий данного раздела и включенных в него тем (или более продуктивно – дополнить конспект лекции).

Обязательно следует записывать возникшие вопросы, на которые не удалось ответить самостоятельно. Необходимо изучить список рекомендованной литературы и убедиться в её наличии в личном пользовании или в подразделениях библиотеки в бумажном или электронном виде. Всю основную учебную литературу желательно изучать с составлением конспекта. Чтение литературы, не сопровождаемое конспектированием, мало результативно. Цель написания конспекта по дисциплине – сформировать навыки по поиску, отбору, анализу и формулированию учебного материала. Эти навыки обязательны для любого специалиста с высшим образованием независимо от выбранного направления.

Написание конспекта должно быть творческим – нужно не переписывать текст из источников, но пытаться кратко излагать своими словами содержание ответа, при этом максимально его структурируя и используя символы и условные обозначения (в этом Вам помогут вопросы выносимые на зачетное тестирование и экзамен). Копирование и заучивание неосмысленного текста трудоемко и по большому счету не имеет познавательной и практической ценности. При работе над конспектом обязательно выявляются и отмечаются трудные для самостоятельного изучения вопросы, с которыми уместно обратиться к преподавателю при посещении занятий и консультаций, либо в индивидуальном порядке.

При чтении учебной и научной литературы необходимо всегда следить за точным и полным пониманием значения терминов и содержания понятий, используемых в тексте. Всегда следует уточнять значения по словарям или энциклопедиям, при необходимости записывать.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

## **7. Материально-техническое обеспечение по дисциплине (модулю)**

По всем видам учебной деятельности в рамках дисциплины используются аудитории, кабинеты и лаборатории, оснащенные необходимым специализированным и лабораторным оборудованием.

При заполнении таблицы учитывать все виды занятий, предусмотренные учебным планом по данной дисциплине: лекции, занятия семинарского типа (практические занятия, лабораторные работы), а также курсовое проектирование, консультации, текущий контроль и промежуточную аттестацию.

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа 300С, 201С, 227С, 114С, 209 С, 315 С	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер	Программное обеспечение в рамках программы компании Microsoft "Enrollment for Education Solutions" для компьютеров и серверов Кубанского государственного университета и его филиалов, Антивирусная защита физических рабочих станций и серверов: Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.
Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 227С, 114С, 209 С, 315 С, 133, 205С, 217С С	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер Оборудование:	Операционная система MS Windows. Офисный пакет приложений MicrosoftOffice. Система MATLAB

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)	Программное обеспечение в рамках программы компании Microsoft "Enrollment for Education Solutions" для компьютеров и серверов Кубанского государственного университета и его филиалов, Антивирусная защита физических рабочих станций и серверов: Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.
Помещение для самостоятельной работы обучающихся (ауд.207С)	Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы	Программное обеспечение в рамках программы компании Microsoft "Enrollment for

	<p>Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)</p>	<p>Education Solutions” для компьютеров и серверов Кубанского государственного университета и его филиалов, Антивирусная защита физических рабочих станций и серверов: Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.</p>
--	---	---