МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра интеллектуальных информационных радиофизических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
_____ И.С. Огнев
(подпись)

«17» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Распространение электромагнитных волн»

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль)
Телекоммуникационные системы и технологии

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «28» апреля 2022 года, протокол № 9

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «11» мая 2022 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются: ознакомление с физическими основами и закономерностями распространения электромагнитных волн в различных средах, методами анализа электромагнитных полей в зависимости от особенностей исследуемого процесса, а также приобретение профессиональных навыков в области проектирования и анализа влияния условий распространения на характеристики электромагнитных волн.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

Для освоения данной дисциплиной студенты должны владеть математическим аппаратом векторного и тензорного анализа, линейной алгебры, дифференциального исчисления, уметь решать основные типы дифференциальных уравнений, знать специальные функции математической физики и их свойства, основы электродинамики.

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, необходимы при изучении дисциплин "Техническая электродинамика", "Радиотехнические системы", а также для продолжения обучения в магистратуре по направлениям "Радиофизика", "Инфокоммуникационные технологии и системы связи", "Радиотехника" и в научно-исследовательской работе.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	**Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)**	**Перечень планируемых результатов обучения**
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе педагогической деятельности	ИД_ОПК-1.2 Применяет математический аппарат, физические законы и теории для решения прикладных и теоретических задач, в том числе педагогической деятельности	**Знать:** – основные параметры и характеристики, описывающие процессы распространения электромагнитных волн; – особенности распространения электромагнитных волн в различных средах. **Уметь:** – пользоваться основными методами описания распространения электромагнитных волн в различных средах; – применять математические модели для расчета характеристик волновых процессов, исходя из специфики задачи. **Владеть навыками:** – расчета параметров и характеристики, описывающие процессы распространения электромагнитных волн в различных средах.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)*
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Введение. Волновые процессы.	7	3	2	12	2		2	Отчет по лаб. работе. Задания для самостоятельной работы
2	Электромагнитные волны в однородных и изотропных средах	7	5	5	12	1		5	Отчет по лаб. работе. Задания для самостоятельной работы
3	Отражение и преломление электромагнитных волн от плоской границы раздела двух сред.	7	4	4	14	1		5	Отчет по лаб. работе. Задания для самостоятельной работы
4	Распространение электромагнитных волн в диспергирующих средах.	7	6	3		1		5	Задания для самостоятельной работы
5	Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах.	7	6	3		2		5	Задания для самостоятельной работы Контрольная работа.
6	Дифракция волн	7	6		13	2		5	Задания для самостоятельной работы Отчет по лаб. работе.
7	Электромагнитные волны в неоднородных средах.	7	4			1		5	Задания для самостоятельной работы
		7				2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего с экзаменом		**34**	**17**	**51**	**12**	**0,5**	**65,5**	

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1

Введение. Волновые процессы

Введение. Основные задачи курса. Волновое уравнение. Гармоническая волна. Плоские, сферические и цилиндрические волны. Система уравнений Максвелла. Классификация сред и процессов.

Раздел 2

Электромагнитные волны в однородных и изотропных средах

Материальные уравнения для линейных, однородных и изотропных сред. Свойства электромагнитных волн в однородных и изотропных средах. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Импеданс. Показатели преломления и поглощения. Поляризация электромагнитных волн и способы ее описания. Поток энергии электромагнитного поля.

Раздел 3

***Отражение и преломление электромагнитных волн от плоской границы раздела двух* сред**

Основные законы, описывающие взаимодействие. Коэффициенты Френеля. Особенности взаимодействия для случаев “диэлектрик-диэлектрик” и “диэлектрик-металл”. Полное внутреннее отражение.

Раздел 4

Распространение электромагнитных волн в диспергирующих средах

Понятие о частотной и пространственной дисперсии. Дисперсионное уравнение. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости. Распространение волнового пакета. Фазовая и групповая скорость. Линейное и квадратичное приближения дисперсии.

Раздел 5

Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах

Общие закономерности процессов распространения. Электромагнитные волны в кристаллах. Уравнение Френеля. Обыкновенные и необыкновенные волны. Магнитоактивные среды. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы. Тензор магнитной проницаемости феррита. Принцип двойственности уравнений Максвелла для анизотропных сред. Распространение электромагнитных волн в гиротропных средах. Эффект Фарадея.

Раздел 6

Дифракция волн

Методы решения дифракционных задач. Метод Кирхгофа. Принцип Гюйгенса-Френеля. Приближенные граничные условия. Угловой спектр плоских волн. Метод стационарной фазы. Зоны Френеля. Волновой параметр. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Параболическое уравнение в теории дифракции. Распространение гауссового пучка в однородной изотропной среде.

Раздел 7

Электромагнитные волны в неоднородных средах

Общие вопросы распространения волн в неоднородных средах. Метод геометрической оптики. Уравнение эйконала. Уравнение переноса. Лучевые траектории. Распространение волн в плоскослоистых средах. Приближение ВКБ.

Перечень лабораторных работ

1. Амплитудные и фазовые методы определения углового положения источника электромагнитных волн.
2. Исследование характеристик направленности источника излучения и поляризации простейших источников электромагнитных волн.
3. Интерференционная структура поля при распространении электромагнитного излучения над земной поверхностью.
4. Рассеивающие свойства дискретных объектов в СВЧ диапазоне радиоволн.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся лекции, практические и лабораторные занятия, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

Вводная лекция - ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

Лабораторное занятие – это проведение студентами по заданию преподавателя опытов с использованием приборов, инструментов и других технических приспособлений, то есть это изучение каких-либо явлений с помощью специального оборудования. Лабораторные занятия, являясь одной форм учебных занятий, дают возможность наглядно сформировать представление об изучаемых явлениях и процессах, помогают овладеть техникой эксперимента, а также решать практические задачи путем постановки опыта.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Распространение электромагнитных волн» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Никольский В.В., Никольская Т.А. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Радио и связь, 1989. http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=743834&cat_cd=YARSU
2. Потапов Л. А. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие для вузов / Л. А. Потапов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 196 с. — URL: https://urait.ru/bcode/492079\.
3. Тимофеев В. А. Электродинамика и электромагнитные волны: задачник / В. А. Тимофеев, Т. К. Артемова; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та. Ч. 1. - Б.м.: Б.и., 2009. - 37 с. Электронный вариант: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20090712.pdf

б) дополнительная литература

1. Яковлев О.И., Якубов В.П., Урядов В.П., Павельев А.Г. Распространение радиоволн. М. Ленанд, 2009. – 491 с. http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1072009&cat_cd=YARSU
2. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн: М.: Горячая линия-Телеком, 2007. - 558 с.. http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1059835&cat_cd=YARSU
3. Тимофеев В.А. Физика волновых процессов: Учебное пособие./ Ярославль, ЯрГУ, 2003. 112 с. Электронный вариант: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20030780.pdf
4. Тимофеев В.А. Электромагнитные поля и волны: Учебное пособие./ Ярославль, ЯрГУ, 2008. 176 с. Электронный вариант: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20080705.pdf.
5. Тимофеев В.А. Амплитудные и фазовые методы определения углового положения источника электромагнитных волн. : методич. указ. по вып. лаб. раб. - Ярославль: ЯрГУ, 2006. 55 с. Электронный вариант: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20060710.pdf
6. Интерференционная структура поля при распространении электромагнитного излучения над земной поверхностью [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. / сост. В. А. Тимофеев; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: ЯрГУ, 2016. - 36 с. URL: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20160702.pdf
7. Тимофеев В.А. Рассеивающие свойства дискретных объектов в СВЧ диапазоне радиоволн: методич. указ. по вып. лаб. раб. - Ярославль.: ЯрГУ, 2006. 51 с. Электронный вариант: http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20060711.pdf

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения занятий лабораторных работ
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Число посадочных мест в аудитории для лабораторных работ больше либо равно половине списочного состава группы обучающихся. (Для проведения лабораторных работ группа обучающихся делится на две подгруппы).

Автор:
Доцент кафедры инфокоммуникаций и радиофизики, к.ф.-м.н., А.С. Гвоздарёв

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Распространение электромагнитных волн»

Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине

1.1 Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей аттестации

Задания для самостоятельной работы

Задания по теме №1
1. Решите задачи № 2.1-2.4 в сборнике задач «Электромагнитные поля и волны» (Тимофеев В.А., Артёмова Т.К./ ЯрГУ, 2009. Ч.1).
2. Рассчитайте пеленгационные характеристики для амплитудных и фазовых характеристик в соответствии с методическими указаниями «Амплитудные и фазовые методы определения углового положения источника электромагнитных волн» (Тимофеев В.А./ ЯрГУ, 2006.) (задание для выполнения лабораторной работы №1).

Задания по теме №2
1. Решите задачи № 2.5-2.10, 2.13-2.17 в сборнике задач «Электромагнитные поля и волны» (Тимофеев В.А., Артёмова Т.К./ ЯрГУ, 2009. Ч.1).

Задания по теме №3
1. Решите задачи № 3.1-3.9 в сборнике задач «Электромагнитные поля и волны» (Тимофеев В.А., Артёмова Т.К./ ЯрГУ, 2009. Ч.1).
2. Рассчитайте пространственную зависимость интерференционного множителя для случая металла для параметров, выданных преподавателем в соответствии с учебно-методическим пособием «Интерференционная структура поля при распространении электромагнитного излучения над земной поверхностью» (Тимофеев В.А./ ЯрГУ, 2016) (задание для выполнения лабораторной работы №3).

Задания по теме №4
Решите задачи № 2.28-2.32 в сборнике задач «Электромагнитные поля и волны» (Тимофеев В.А., Артёмова Т.К./ ЯрГУ, 2009. Ч.1).

Задания по теме №5
Решите задачи № 4.1-4.7 в сборнике задач «Электромагнитные поля и волны» (Тимофеев В.А., Артёмова Т.К./ ЯрГУ, 2009. Ч.1).

Задания по теме №6
Рассчитайте ЭРП предложенных преподавателем объектов в соответствии с методическими указаниями «Рассеивающие свойства дискретных объектов в СВЧ диапазоне радиоволн» (Тимофеев В.А./ ЯрГУ, 2006.) (задание для выполнения лабораторной работы №4).

Критерии оценивания решения задач

Показатели	Критерии
Понимание условия задачи	– Краткая запись условия. – Использование физической символики. – Запись единиц измерения и перевод их в СИ

Показатели	Критерии
	– Хорошее оформление работы, четкие рисунки и чертежи. – Нахождение и запись необходимых табличных и дополнительных данных.
План решения задачи	– Обоснование выбора физических формул для решения. – Рациональный способ решения – Запись формул
Осуществление решения	– Вывод расчетных(ой) формул(ы), решение задачи в общем виде – Математические операции с единицами измерения физических величин, вычисления
Правильность решения задачи	– Краткое объяснение решения. – Анализ полученных результатов

Шкала оценивания:
0 баллов – полное отсутствие критерия;
1 балл – частичное выполнение критерия;
2 балла – полное выполнение критерия

Суммируются баллы за каждую задачу.

Оценка проставляется по количеству набранных баллов:
менее 60% от максимально возможного количества баллов - неудовлетворительно,
60-75% от максимально возможного количества баллов - удовлетворительно,
76-85% от максимально возможного количества баллов - хорошо,
86-100% от максимально возможного количества баллов – отлично.

Контрольная работа

Вариант 1

1. 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 $10\ МГц$, если в заданной точке пространства комплексная амплитуда вектора напряженности магнитного поля $\dot{\vec{H}} = \left(0{,}5\vec{e}_x - 2{,}5\vec{e}_y\right) A/м$.
2. Волну с эллиптической поляризацией $\vec{E} = (30\hat{\vec{e}}_x + 40i\hat{\vec{e}}_y)\, exp(i(kz - \omega t))$ представить

а) в круговом базисе
б) в линейно базисе, повернутом относительно исходного на угол α.

3. Диэлектрическая проницаемость монокристалла кварца может быть описана двумя главными значениями ε: вдоль оптической оси $\varepsilon_{||}$ и перпендикулярно ей $\varepsilon_{\perp}$. На каком минимальном расстоянии от начала координат плоская линейно поляризованная волна, распространяющаяся перпендикулярно оптической оси, преобразуется в волну с круговой поляризацией, если $\varepsilon_{||} = 4.65$, $\varepsilon_{\perp} = 4.55$? Частота колебаний 37.5 ГГц.

Вариант 2

1. Комплексная амплитуда вектора напряженности электрического поля плоской волны, распространяющейся вдоль оси z, в плоскости z=0, $\dot{\vec{E}} = E_0(\vec{e}_x + \exp(i\varphi)\vec{e}_y)$. Определить вид поляризации, если $\varphi = 60^\circ$.

2. Определить комплексную амплитуду вектора напряженности электрического поля плоской электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оси z в металле с параметрами $\sigma = 6 \cdot 10^7 \, См/м, \varepsilon = 1, \mu = 1$ на частотах 10 кГц и 1 МГц, если в заданной точке пространства комплексная амплитуда вектора напряженности магнитного поля $\dot{\vec{H}} = 25\vec{e}_y A/м$.
3. Однородная плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Вектор Пойнтинга волны лежит в плоскости (x,z) и образует угол φ с осью z. Найти расстояние вдоль оси z, на котором фаза волны изменится на 160°, если частота колебаний равна $100 \, МГц$, а угол $\varphi = 60^\circ$.
4. Плоская электромагнитная волна распространяется в безграничной плоскопараллельной пластине диэлектрика с $\varepsilon_a = \varepsilon\varepsilon_0$ под углом θ к границе раздела с вакуумом. При каких условиях волна не будет покидать пластину?

Вариант №3

1. Определить амплитуду напряженности магнитного поля волны с частотой 100 МГц на расстоянии $z = 10м$ от начала координат, если при $z = 0$ среднее значение плотности потока мощности составляло $1 \, Вт/м^2$. Среда имеет следующие параметры $\varepsilon = 4, \mu = 1, \sigma = 10^3 \, См/м$.
2. Вычислить фазовую скорость, показатель поглощения и глубину проникновения поля в среду плоской электромагнитной волны на частоте 10 МГц, если среда имеет следующие параметры: $\sigma = 6 \cdot 10^7 \, См/м, \varepsilon = 1, \mu = 1$.
3. Плоская электромагнитная волна, вектор напряженности электрического поля которой лежит в плоскости падения, падает из диэлектрика с параметрами $\varepsilon_1 = 9, \mu_1 = 1, \sigma_1 = 0$ на поверхность диэлектрика с параметрами $\varepsilon_2 = 1, \mu_2 = 1, \sigma_2 = 0$. При каких углах падения:

а) вся энергия падающей волны переходит во вторую среду;

б) вся энергия падающей волны отражается от границы раздела?

4. Вывести формулу для модуля коэффициента пропускания пластинки толщиной h, на которую падает нормально из вакуума электромагнитная волна с частотой f, если известны волновое сопротивление Z_{pl} и коэффициент поглощения пластинки κ_{pl}. Многократными переотражениями пренебречь.

Критерии оценивания контрольной работы

Критерии совпадают с критериями оценивания заданий для самостоятельной работы (задач)

Критерии оценивания выполнения и защиты лабораторных работ

«Зачтено» - соблюдены все условия проведения эксперимента, результаты адекватные, отчёт соответствует единым требованиям к отчётам по лабораторным работам, ответы на вопросы при защите корректные, дан ответ на все вопросы.

«Незачтено» - получены неверные результаты, отчёт не соответствует требованиям, дан ответ не на все вопросы или ответы при защите неверные.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Вопросы к экзамену

1. Волновое уравнение. Гармоническая волна. Волновое уравнение для комплексных амплитуд.
2. Плоские однородные и неоднородные волны.
3. Сферические волны. Основные их свойства.
4. Основные свойства цилиндрических волн.
5. Уравнения Максвелла. Классификация сред и явлений.
6. Электромагнитные волны в однородных изотропных средах. Их основные свойства и параметры. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Импеданс.
7. Показатели преломления и поглощения.
8. Поляризация плоской гармонической электромагнитной волны.
9. Способы описания поляризации немонохроматических электромагнитных волн.
10. Поток энергии электромагнитного поля в однородной изотропной среде. Вектор Умова-Пойнтинга.
11. Отражение и преломление электромагнитных волн от плоской границы раздела двух сред. Коэффициенты Френеля. Общий вид.
12. Особенности отражения и преломления электромагнитных волн от плоской границы раздела двух сред типа “диэлектрик-диэлектрик”.
13. Особенности отражения и преломления электромагнитных волн от плоской границы раздела двух сред типа “диэлектрик-проводник”.
14. Электромагнитные волны в диспергирующих и анизотропных средах. Понятие частотной и пространственной дисперсии. Вид материальных уравнений для среды с дисперсией и анизотропией. Дисперсионное уравнение.
15. Частотная дисперсия диэлектрической проницаемости при распространении электромагнитных волн в диэлектриках. Вид показателей поглощения и преломления.
16. Распространение немонохроматической электромагнитной волны в диспергирующей среде. Линейное приближение. Фазовая и групповая скорость волны.
17. Распространение немонохроматической электромагнитной волны в диспергирующей среде. Квадратичное приближение дисперсии.
18. Общие закономерности волновых процессов в анизотропных средах.
19. Электромагнитные волны в кристаллах. Уравнение Френеля.
20. Фазовая и групповая скорости в одноосных кристаллах. Волны в двуосных кристаллах.
21. Электромагнитные волны в магнитоактивных средах. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы.
22. Электромагнитные волны в гиромагнитных средах. Тензор магнитной проницаемости феррита.
23. Принцип двойственности уравнений Максвелла для гиротропных сред. Поперечное распространение электромагнитных волн в гиротропных средах.
24. Продольное распространение электромагнитных волн в гиротропных средах. Эффект Фарадея.
25. Дифракция электромагнитных волн. Методы решения дифракционных задач. Метод Гюйгенса-Кирхгофа. Граничные условия Кирхгофа.
26. Угловой спектр плоских волн. Понятие пространственной частоты. Изменение углового спектра при дифракции волны на отверстии.
27. Решение задачи дифракции на отверстии методом Гюйгенса-Кирхгофа. Метод стационарной фазы. Зоны Френеля. Волновой параметр.
28. Дифракция Френеля и Фраунгофера.

29. Распределение интенсивности электромагнитной волны в дальней зоне при дифракции на прямоугольном и круглом отверстии.
30. Параболическое уравнение в теории дифракции.
31. Распространение гауссового волнового пучка в однородной изотропной среде.
32. Электромагнитные волны в неоднородных средах. Метод геометрической оптики. Уравнение эйконала и уравнение переноса.
33. Уравнение луча в неоднородной среде в приближении геометрической оптики. Изменение амплитуды луча. Вывод уравнения эйконала из уравнений Максвелла.
34. Распространение электромагнитных волн в плоскослоистых средах. Траектории лучей (рефракция). Приближение ВКБ.

Критерии оценивания ответов на вопросы билета

Критерий	**Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)**	**Продвинутый уровень (на «хорошо»)**	**Высокий уровень (на «отлично»)**
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающий полный ответ

3. Описание процедуры оценивания

Изучение дисциплины заканчивается экзаменом. Во время подготовки к экзамену предусмотрена групповая консультация.

Экзаменационный билет состоит из одного теоретического вопроса и одной задачи по материалам курса.

1. Теоретический вопрос в экзаменационном билете оценивается в 3 балла:
   - 3 балла, если вопрос раскрыт более чем на 90% от требуемого объёма. При этом студент демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом технической электродинамики; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Дает развернутые, полные и четкие ответы на вопрос билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию технической электродинамики.
   - 2 балла, если вопрос раскрыт более чем на 70%, но менее, чем на 90% от требуемого объёма. При этом ответ в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.
   - 1 балл, если вопрос раскрыт более чем на 50%, но менее чем на 70% от требуемого объёма. При этом студент демонстрирует умение выделить суще-

ственные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагается в терминах технической электродинамики, но допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

2. Задача в экзаменационном билете оценивается в 2 балла:
   - 1 балл, если верно обозначен подход к решению задачи (корректно выбран метод, выписаны основные формулы), но не приведено окончательное решение, или в приведённом решении присутствуют ошибки.
   - 2 балла, если задача решена полностью верно.

Итоговая оценка высчитывается исходя из суммарного балла

В результате, для получения оценки «отлично» необходимо, чтобы суммарный балл был не ниже 7, для получения оценки «хорошо» – не ниже 6, для получения оценки «удовлетворительно» – не ниже 4.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины
«Распространение электромагнитных волн»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой занятий по дисциплине являются лекции и практические занятия. На лекциях излагается необходимый минимум теоретических сведений, ставятся вопросы, на которые надо найти ответ самостоятельно, даются рекомендации по побору литературы, даются отсылки к нормативной базе. Теоретический материал представляет собой компиляцию из огромного количества источников, поэтому материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и дополнять информацией, полученной из учебной и научной литературы.

На практических занятиях отрабатываются полученные знания, разбираются практические ситуации, приобретаются практические знания по работе с реальным оборудованием.

Для успешного освоения дисциплины обязательно выполнение всех домашних заданий, они являются формой текущей аттестации. В качестве заданий для самостоятельной работы дома предлагаются задания, аналогичные разобранным на практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых заданий. Некоторые задания относятся к категории заданий повышенной сложности, они подразумевают применение вычислительной техники с математическими пакетами, например, Matematica, MathCad, MATLAB, R, Stetistica или их бесплатных, свободно распространяемых аналогов, например, Octave, SciLAB, FreeMat и других или онлайн-вычислений (пользуйтесь любым удобным Вам способом). По окончании практического курса проводится контрольная работа, включающая в себя задания, интегрирующие множество мелких освоенных задач в один расчётный проект.