

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и
научной работе

Лейфа А.В. Лейфа

« 1 » сентября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
«ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН»

Направление подготовки 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) образовательной программы –

Квалификация выпускника – Бакалавр

Год набора – 2022

Форма обучения – Очная

Курс 3 Семестр 6

Зачет 6 сем

Общая трудоемкость дисциплины 72.0 (академ. час), 2.00 (з.е)

Составитель О.В. Зотова, доцент, канд. физ.-мат. наук

Инженерно-физический факультет

Кафедра физики

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для направления подготовки 03.03.02 Физика утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 № 891

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики

01.09.2022 г. , протокол № 1

Заведующий кафедрой Стукова Е.В. Стукова

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Стукова Е.В. Стукова

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

« 1 » сентября 2022 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

Формирование научного мировоззрения и современного физического мышления в области электромагнитных явлений. Развитие способностей применения специализированных знаний при решении профессиональных задач

Задачи дисциплины:

- 1) углубление фундаментальных знаний в области теории электромагнитного поля посредством изучения законов, описывающих процессы распространения электромагнитных волн в свободном пространстве и направляющих системах;
- 2) освоение математического аппарата и методов электродинамического описания явлений и процессов в радиоэлектронных устройствах различного назначения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Электродинамика и распространение радиоволн» входит в часть учебного плана, формируемую участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения данной дисциплины студентам необходимы знания и умения, приобретенные в результате освоения базовой дисциплины «Электродинамика», входящей в модуль «Теоретическая физика», а также высокий уровень математической подготовки, обеспечиваемый изучением дисциплин модуля «Математика». Особую важность для успешного освоения курса имеет математическая дисциплина «Векторный и тензорный анализ», что обусловлено особой структурой основных объектов электродинамики, которые имеют полевую природу.

Знания и навыки, полученные при освоении дисциплины «Электродинамика и распространение волн», необходимы при последующем изучении дисциплин, таких как «Радиофизика и электроника», «Средства связи и передачи информации», «Телекоммуникационные сети», «Экспериментальные методы в физике» и др.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименования профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-1 Способен выполнять работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований в соответствующей области знаний	ИД-1ПК-1 Знает основные принципы обработки и анализа научно-технической информации и результатов исследований в соответствующей области знаний. ИД-2ПК-1 Понимает, умеет излагать и анализировать научно-техническую информацию, и полученные результаты исследований в соответствующей области знаний. ИД-3ПК-1 Умеет решать профессиональные задачи с применением современной приборной базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2.00 зачетных единицы, 72.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) дисциплины, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

- 4.1 – Л (Лекции)
 4.2 – Лекции в виде практической подготовки
 4.3 – ПЗ (Практические занятия)
 4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки
 4.5 – ЛР (Лабораторные работы)
 4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки
 4.7 – ИКР (Иная контактная работа)
 4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)
 4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)
 5 – Контроль (в академических часах)
 6 – Самостоятельная работа (в академических часах)
 7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	Полная система уравнений Максвелла. Энергетические соотношения в электромагнитном поле	6	4		2								2	Коллоквиум Письменный опрос
2	Плоские электромагнитные волны в неограниченных средах	6	6		4								2	Коллоквиум, ИДЗ
3	Краевые задачи электродинамики. Падение плоских волн на границу раздела двух сред	6	4		2								4	Коллоквиум, ИДЗ
4	Электромагнитные волны в направляющих системах	6	8		6								4	Коллоквиум, ИДЗ
5	Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели	6	6		2								4	Письменный опрос, ИДЗ
6	Распространение электромагнитных волн в атмосфере Земли	6	6		2								3.8	Реферат
7	Зачет	6								0.2				
	Итого		34.0		18.0		0.0		0.0	0.2	0.0	0.0	19.8	

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Лекции

№ п/	Наименование темы	Содержание темы (раздела)
------	-------------------	---------------------------

п	(раздела)	
1	Полная система уравнений Максвелла. Энергетические соотношения в электромагнит-ном поле	Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Закон сохранения заряда, Материальные уравнения электромагнитного поля. Сторонние источники. Уравнения Максвелла для гармонических колебаний. Комплексные амплитуды полей. Энергетические характеристики и баланс энергии поля. Баланс энергии в случае гармонических колебаний. Энергия электромагнитного поля. Теорема Умова-Пойнтинга. Принцип перестановочной двойственности. Лемма Лоренца.
2	Плоские электромагнитные волны в неограниченных средах	Понятие волнового процесса. Волновой характер переменного электромагнитного поля. Уравнение Гельмгольца. Плоские волны и их характеристики. Понятие характеристического сопротивления. Плотность потока мощности в плоской электромагнитной волне. Вектор Пойнтинга. Классификация сред. Идеальные диэлектрики и идеальные проводники, комплексная диэлектрическая и магнитная проницаемость. Уравнения Гельмгольца для векторов поля. Особенности распространения плоской волны в диэлектрике, полупроводнике и проводнике.
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. Поляризация электромагнитных волн. Падение плоской электромагнитной волны на границу раздела двух сред без потерь. Формулы Френеля. Падение плоской электромагнитной волны на диэлектрическое полупространство с потерями. Неоднородные плоские волны. Приближенные граничные условия Леонтовича.
4	Электромагнитные волны в направляющих системах	Классификация направляющих систем. Падение плоских волн с параллельной и перпендикулярной поляризацией на идеально проводящую плоскость. Математическое представление и классификация направляемых волн: Е-, Н - и Т-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. Характеристическое сопротивление волновода. Волноводы с волнами типа Т. Коаксиальный и полосковый волноводы. Затухание волн в полых металлических волноводах. Замедляющие структуры. Электромагнитные колебания в объемных резонаторах.
5	Излучение	Неоднородные уравнения Максвелла. Векторный

	электромагнитных волн. Элементарные излучатели	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.
6	Распространение электромагнитных волн различных диапазонов в атмосфере 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. Поле в непосредственной близости от поверхности земли и в земле. Дифракция радиоволн на препятствии. 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. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов на реальных трассах. Область пространства, существенная для распространения радиоволн.

5.2. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
Энергетические соотношения в электромагнитном поле	Решение задач: расчет характеристик электромагнитного поля с применением уравнений Максвелла и теоремы Пойнтинга для случаев квазистационарного и переменного электромагнитного поля в однородной среде.
Плоские электромагнитные волны в диэлектрических средах	Решение задач: расчет характеристик плоских электромагнитных волн в идеальном диэлектрике, в диэлектрике с потерями и в проводящей среде. Определение характеристического(волнового) сопротивления среды.
Плоские электромагнитные волны в проводящих средах	Решение задач: расчет характеристик плоских электромагнитных волн в проводящей среде. Расчет затухания и глубины проникновения.
Краевые задачи электродинамики. Падение плоских волн на границу раздела двух сред	Решение задач: падение плоской волны на границу двух сред без потерь. Формулы Френеля, угол Брюстера. Полное отражение.
Электромагнитные волны в прямоугольном волноводе	Решение задач: Определение типов ЭМВ, распространение которых возможно в

	прямоугольном волноводе заданных размеров. Определение характеристик ЭМВ, распространяющихся в прямоугольном волноводе. Определение оптимальных размеров волновода, для распространение ЭМВ с заданными характеристиками.
Электромагнитные волны в круглом волноводе	Решение задач: Определение типов ЭМВ, распространение которых возможно в круглом волноводе заданного размера. Определение характеристик ЭМВ, распространяющихся в круглом волноводе. Определение оптимального размера волновода, для распространение ЭМВ с заданными характеристиками.
Объемные резонаторы	Решение задач: Определение резонансных частот прямоугольных и круглых резонаторов для ЭМВ различных типов. Определение основной моды резонатора и ширины полосы пропускания. Добротность объемного резонатора.
Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели	Решение задач: Расчет характеристик ЭМВ в дальней зоне, излучаемых элементарными излучателями (электрическим и магнитным).
Распространение электромагнитных волн различных диапазонов в атмосфере Земли	Семинар: защита рефератов (доклады с презентациями)

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	Полная система уравнений Максвелла. Энергетические соотношения в электромагнитном поле	Подготовка к практическим занятиям Подготовка к коллоквиуму Подготовка к зачету	2
2	Плоские электромагнитные волны в неограниченных средах	Подготовка к практическим занятиям Выполнение индивидуального домашнего задания (ИДЗ) Подготовка к коллоквиуму Подготовка к зачету	2
3	Краевые задачи электродинамики. Падение плоских волн на границу раздела двух сред	Подготовка к практическим занятиям Выполнение индивидуального домашнего задания (ИДЗ) Подготовка к коллоквиуму Подготовка к зачету	4
4	Электромагнитные волны в	Подготовка к практическим занятиям Выполнение индивидуального домашнего	4

	направляющих системах	задания (ИДЗ) Подготовка к коллоквиуму Подготовка к зачету	
5	Излучение электромагнитных волн. Элементарные излучатели	Подготовка к практическим занятиям Выполнение индивидуального домашнего задания (ИДЗ) Подготовка к зачету	4
6	Распространение электромагнитных волн в атмосфере Земли	Подготовка к практическим занятиям Подготовка реферата Подготовка к зачету	3.8

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Для проведения лекционных занятий используются аудитории, оснащенные мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской. Чтение лекций сопровождается презентациями.

Практические занятия по дисциплине предназначены для формирования у студентов навыка решение задач, возникающих перед исследователем, разработчиком конкретных физических моделей и конструкций. На практические занятия выносятся наиболее важные разделы курса, занятия организуются в виде семинаров- бесед. Преподаватель задает аудитории вопросы, отвечают желающие, а преподаватель комментирует, таким образом преподаватель совместно со студентами обсуждает особенности построения алгоритма решения данного класса задач, а также подходы к решению каждой конкретной задачи. Студенты самостоятельно реализуют разработанный алгоритм, после чего обсуждаются полученные результаты. На каждом занятии рассматривается несколько задач в рамках обозначенной темы, часть из которых решается с подробным обсуждением, остальные задачи студенты выполняют самостоятельно (индивидуальные домашние задания). Так же на практических занятиях осуществляется текущий контроль знаний студентов по отдельным разделам и темам курса в виде: коллоквиума (проверка знаний теоретического материала) и тестирование или письменный опрос (проверка знаний понятийного аппарата, основных законов и формул).

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, а так же методические материалы, определяющие процедуры оценивания, знаний, умений и навыков отражены в фонде оценочных средств по дисциплине «Электродинамика и распространение волн».

Примерные вопросы к зачету

1. Определение электромагнитного поля. Векторы электрического и магнитного поля. Закон Ома в дифференциальной форме. Полный ток. Уравнения Максвелла в дифференциальной и интегральной формах.
2. Классификация сред, материальные уравнения. Граничные условия для электромагнитного поля.
3. Метод комплексных амплитуд. Уравнения Максвелла для гармонических колебаний. Комплексные проницаемости.
4. Принцип перестановочной двойственности. Лемма Лоренца.
5. Энергия электромагнитного поля. Уравнение баланса энергии для электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга.
6. Движение энергии в электромагнитном поле. Средний баланс энергии в случае гармонических колебаний.
7. Уравнение Гельмгольца для среды без потерь. Его решение. Волновое число и

волновой вектор. Фронт волны.

8. Уравнения Максвелла для плоской однородной волны. Взаимная ориентация векторов поля и волнового вектора в среде без потерь. Волновое (характеристическое) сопротивление.

9. Поляризация плоской электромагнитной волны.

10. Электромагнитные волны в средах с потерями. Коэффициент затухания.

11. Волновое число в поглощающих средах. Волны в диэлектрике. Волны в проводнике. Поверхностный эффект.

12. Нормальное падение плоской волны на границу двух сред. Формулы Френеля.

13. Наклонное падение плоской волны на границу двух сред. Законы Снеллиуса. Формулы Френеля. Угол Брюстера.

14. Явление полного внутреннего отражения и его применение. Неоднородные плоские волны.

15. Падение плоской электромагнитной волны на диэлектрическое полупространство с потерями. Приближенные граничные условия Леонтовича.

16. Понятие о направляющих системах. Условия распространения электромагнитных волн в направляющих системах. Критическая частота, длина волны в линии передачи, фазовая скорость.

17. Связь между продольными и поперечными составляющими поля в однородной направляющей системе. Классификация направляемых волн.

18. Прямоугольный металлический волновод. Волны типа Е, их характеристики и структура поля.

19. Прямоугольный металлический волновод. Волны типа Н, их характеристики и структура поля.

20. Основная волна прямоугольного волновода, ее характеристики, структура поля и токов. Мощность, переносимая основной волной через поперечное сечение волновода.

21. Круглые волноводы. Волна основного типа и ее характеристики.

22. Волноводы с волнами типа Т. Коаксиальный и полосковый волноводы.

23. Элементарный электрический излучатель.

24. Исследование поля электрического диполя. Поле в ближней зоне. Поле в дальней зоне.

25. Элементарный магнитный излучатель.

26. Понятие явления дифракции электромагнитных волн. Приближение Гюйгенса-Кирхгофа в описании явления дифракции. Зоны Френеля.

27. Область пространства, существенная при распространении радиоволн.

28. Классификация моделей радиотрасс над земной поверхностью.

29. Поле излучателя, поднятого над плоской поверхностью. Интерференционная формула и формула Введенского.

30. Учет сферичности Земли при распространении радиоволн в зоне освещенности. Приведенные высоты.

31. Рассеяние радиоволн шероховатыми поверхностями. Критерий Рэлея.

32. Структура поля излучения вертикального диполя при низко расположенных антеннах.

33. Расчет вертикальной составляющей поля при низко расположенных антеннах. Формула Шулейкина-Ван-дер-Поля.

34. Распространение радиоволн при низко расположенных антеннах над неоднородной трассой. Береговая рефракция.

35. Состав и электрические параметры тропосферы. Индекс преломления.

36. Распространение волн в плавно- неоднородной среде. Явление рефракции. Эквивалентный радиус Земли. Виды тропосферной рефракции.

37. Строение ионосферы. Физические причины образования в ионосфере ионизированных слоев. Электрические параметры ионосферы.

38. Отражение и преломление радиоволн в ионосфере.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) 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. 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. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05369-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492079>
3. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / Д. Ю. Муромцев, Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-1637-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211646> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Электродинамика и распространение радиоволн [Электронный ресурс]: сб. учебн.-метод. материалов по изучению дисциплины для направления подготовки 03.03.02/ АмГУ, ИФФ; сост. О. В. Зотова, - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 25 с. - Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9897.pdf

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	Операционная система MS Windows 7 Pro	DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years) Renewal по договору - Сублицензионный договор № Tr000074357/КНВ 17 от 30 июня 2019 года.
2	http://e.lanbook.com	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия
3	http://www.iprbookshop.ru/	Электронно- библиотечная система IPRbooks — научно- образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования.
4	https://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - российский информационно- аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	http:// dxdy.ru/ fizika-f2.html	Научный форум. Физика, Математика, Химия, Механика и Техника. Обсуждение теоретических вопросов, входящих в стандартные учебные курсы. Дискуссионные темы физики: попытки опровержения классических теорий и т.п. Обсуждение нетривиальных и нестандартных учебных задач. Полезные ресурсы

		сети, содержащие материалы по физике.
2	http://www.mavicanet.ru/	MavicaNET - Многоязычный Поисковый Каталог. Теоретическая физика. Институты, лаборатории и др. организации, занимающиеся исследованиями в области теоретической физики. Может содержать все существующие подкатегории раздела физика, если источник связан с теоретическими исследованиями.
3	https://uisrussia.msu.ru/	Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ).
4	https://www.runnet.ru	RUNNet (Russian UNiversity Network) - крупнейшая в России научно-образовательная телекоммуникационная сеть, обладающая протяженной высокоскоростной магистральной инфраструктурой и международными каналами, обеспечивающими интеграцию с зарубежными научно-образовательными сетями (National Research and Education Networks, NREN) и с Интернет. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Занятия по дисциплине «Электродинамика и распространение радиоволн» проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.