

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением
Ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины
Распространение электромагнитных волн
в неоднородной плазме**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Электромагнитные волны в средах

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.02 "Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме" относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 Радиофизика, формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1: <i>Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности</i>	ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач.	<i>Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности</i> <i>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности</i> <i>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</i>	Собеседование
	ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий.	<i>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных</i> <i>Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема</i> <i>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</i>	Собеседование
ПК-2: <i>Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты</i>	ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.	<i>Знать: современное состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности</i> <i>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики</i> <i>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</i>	Собеседование

	ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.	Знать: современные подходы к моделированию различных явлений Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи	Собеседование
	ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР.	Знать: основные принципы организации научного исследования Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов	Собеседование
	ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики.	Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи	Собеседование
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	ПК-3.1. Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.	Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций	Собеседование

	ПК-3.2. Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.	<i>Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом</i>	<i>Собеседование</i>
	ПК-3.3. Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.	<i>Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР</i>	<i>Собеседование</i>

3. Структура и содержание дисциплины «Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме»

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
самостоятельная работа	39
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	-

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)			В том числе														
				Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них												Самостоятельная работа обучающегося, часы		
				Занятия лекционного типа			Занятия семинарского типа			Занятия лабораторного типа			Всего					
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное
1. Введение.	4						2						2			2		
2. Метод возмущений в слоисто-неоднородной изотропной плазме.	4						2						2			2		
3. Метод геометрической оптики (МГО) для нормального падения волн на слоисто-неоднородную изотропную плазму.	4						2						2			2		
4. Строгие решения волнового уравнения для нормального падения плоской монохроматической волны на слоисто-неоднородную среду.	8						4						4			4		
5. Наклонное падение волн на слоисто-неоднородную изотропную плазму.	8						2						2			6		
6. Распространение электромагнитных волн в слоисто-неоднородной магнитоактивной плазме (нормальное падение).	4						2						2			2		
7. Метод геометрической	8						2						2			6		

оптики для скалярных волновых полей в трехмерно-неоднородной изотропной среде.																			
8. Распространение электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной изотропной плазме.	4						2						2				2		
9. Волны в плоско-слоистой магнитоактивной плазме.	4						2						2				2		
10. Распространение электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной магнитоактивной плазме.	4						2						2				2		
11. Линейная трансформация нормальных волн в неоднородной плазме.	4						2						2				2		
12. Импульсное зондирование ионосферы.	4						2						2				2		
13. Распространение низкочастотных электромагнитных волн в магнитосферной плазме.	6						2						2				4		
14. Распространение электростатических волн в неоднородной плазме	5						4						4				1		
В т.ч. текущий контроль	1						1						1				-		
Промежуточная аттестация - Зачет																			

Содержание разделов дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия
1	Введение.	Основные параметры плазмы. Характерные масштабы неоднородности плазмы (ионосферная плазма, плазма солнечной короны, межзвездная среда).	Лекция
2	Метод возмущений (борновское приближение) в слоисто-неоднородной изотропной	Система уравнений последовательных приближений. Выражения для коэффициентов отражения	Лекция

	плазме	и прохождения плоской волны при наличии слабой локальной неоднородности в среде	
3	Метод геометрической оптики (МГО) для нормального падения волн на слоисто-неоднородную изотропную плазму	Формулы для фазы и амплитуды волны. Пределы применимости МГО.	Лекция
4	Строгие решения волнового уравнения для нормального падения плоской монохроматической волны на слоисто-неоднородную среду	Линейный слой. Функции Эйри. Переход к приближению геометрической оптики. Обзор известных строгих решений.	Лекция
5	Наклонное падение волн на слоисто-неоднородную изотропную плазму.	Распространение ТЕ-волн. Фаза и амплитуда волны. Переход от волнового описания к лучевому. Закон Снеллиуса. Распространение ТМ-волн. Особенности поля волны в области плазменного резонанса. Взаимодействие электромагнитных и плазменных волн.	Лекция
6	Распространение электромагнитных волн в слоисто-неоднородной магнитоактивной плазме (нормальное падение).	Фаза, поляризация и амплитуда нормальных волн. Пределы применимости МГО. Области нарушения приближения геометрической оптики в слоисто-неоднородной магнитоактивной плазме. Линейное взаимодействие нормальных волн. Предельная поляризация. Эффект утраивания отраженных сигналов.	
7	Метод геометрической оптики для скалярных волновых полей в трехмерно-неоднородной изотропной среде.	Система уравнений последовательных приближений. Уравнение эйконала. Лучи. Уравнение переноса. Закон сохранения энергии в лучевой трубке. Амплитуда волны в нулевом приближении геометрической оптики. Каустики. Волны в слоистых средах.	
8.	Распространение электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной изотропной плазме.	Уравнения Максвелла для монохроматических волн. Дебаевское разложение. Уравнение эйконала. Лучевые траектории. Уравнение переноса. Закон сохранения потока энергии в лучевой трубке. Изменение поляризации вдоль луча.	Лекция
9.	Волны в плоско-слоистой магнитоактивной плазме.	Квартика Букера. Особенности лучевых траекторий радиоволн в ионосферной плазме.	Лекция
10.	Распространение электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной магнитоактивной плазме.	Исходные уравнения. Уравнения последовательных приближений. Уравнение эйконала. Лучевые траектории. Методы решения уравнений для лучей. Векторы поляризации нормальных волн. Уравнение переноса для амплитуд нормальных волн. Закон сохранения потока энергии в лучевой трубке.	Лекция
11.	Линейная трансформация нормальных волн в неоднородной плазме.	Метод фазовых интегралов.	Лекция
12.	Импульсное зондирование ионосферы	Вертикальное зондирование. Ионосферная станция. ИONOграммы. Определение профиля электронной концентрации в ионосфере по иONOграммам. Наклонное зондирование. Закон секанса. Теорема Брайта и Тьюва. Теорема Мартина. .	Лекция
13.	Распространение низкочастотных электромагнитных волн в	Свистящие атмосферники (свисты). Лучевые траектории. Дисперсия свистов. Диагностика околосредней плазмы	Лекция

	магнитосферной плазме.	с помощью свистов.	
14.	Распространение электростатических волн в неоднородной плазме	Лучевые траектории ленгмюровских волн в слоисто-неоднородной плазме. Зондирование ионосферы сверху. Плазменные резонансы.	Лекция

В рамках лекционных занятий организуются практикумы (семинары), в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение практических заданий и задач, организация семинаров по отдельным разделам дисциплины.

На проведение занятий в форме практической подготовки отводится 4 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:
- изучение, анализ научно-технической информации, обобщение отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;
- аналитическое и численное исследование физических явлений и процессов радиофизическими методами;
- разработка новых комплексов программ по численному моделированию объектов различной физической природы;
- планирование и проведение экспериментов с применением современных методов и измерительной аппаратуры (акустической, радиоэлектронной, оптоэлектронной);
- формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований;
- совершенствование известных и разработка новых методов исследований;
- анализ получаемых результатов и, при необходимости, корректировка направлений исследований;
- подготовка и оформление научных статей;
- составление отчетов и докладов о научно-исследовательской работе;
- участие в научных конференциях, в том числе международных
- руководство научной работой обучающихся
- компетенций – ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лекционного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»

	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Метод возмущений для слоисто-неоднородной изотропной среды.	ПК-1
2. Метод геометрической оптики для нормального падения электромагнитной волны на слоисто-неоднородную изотропную среду.	ПК-1
3. Строгое решение уравнения Гельмгольца для нормального падения плоской волны на среду с линейной зависимостью диэлектрической проницаемости от координаты.	ПК-1
4. Наклонное падение ТЕ-волны на слоисто-неоднородную изотропную плазму. Поле в приближении геометрической оптики	ПК-1
5. Наклонное падение ТЕ-волны на слоисто-неоднородную изотропную плазму. Переход от волнового описания поля к лучевому.	ПК-1
6. Наклонное падение ТМ-волны на слоисто-неоднородную изотропную плазму. Особенности поля волны в области плазменного резонанса.	ПК-1
7. Наклонное падение ТМ-волны на слоисто-неоднородную изотропную плазму. Линейное взаимодействие электромагнитных и плазменных волн.	ПК-1
8. Нормальное падение электромагнитной волны на слоисто-неоднородную магнитоактивную плазму. Фаза, поляризация и амплитуда нормальных волн.	ПК-1
9. Нормальное падение электромагнитной волны на слоисто-неоднородную магнитоактивную плазму. Области нарушения приближения геометрической оптики в слоисто-неоднородной магнитоактивной плазме.	ПК-1
10. Метод геометрической оптики для скалярных волновых полей в трехмерно-неоднородной изотропной среде. Система уравнений последовательных приближений. Уравнение эйконала. Лучи.	ПК-1
11. Метод геометрической оптики для скалярных волновых полей в трехмерно-неоднородной изотропной среде. Уравнение переноса. Закон сохранения энергии в лучевой трубке. Амплитуда волны в нулевом приближении геометрической оптики	ПК-1
12. Метод геометрической оптики для скалярных волновых полей в трехмерно-неоднородной изотропной среде. Каустики.	ПК-2
13. Распространение электромагнитных волн в трехмерно-	ПК-2

неоднородной изотропной плазме. Дебаевское разложение. Уравнение эйконала. Лучевые траектории.	
14. Распространение электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной изотропной плазме. Уравнение переноса. Закон сохранения потока энергии в лучевой трубке.	ПК-2
15. Распространение электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной магнитоактивной плазме. Уравнения последовательных приближений. Уравнение эйконала. Лучевые траектории.	ПК-2
16. Распространение электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной магнитоактивной плазме. Векторы поляризации нормальных волн. Уравнение переноса для амплитуд нормальных волн. Закон сохранения потока энергии в лучевой трубке.	ПК-2
17. Волны в плоско-слоистой магнитоактивной плазме. Квартика Буккера.	ПК-2
18. Особенности лучевых траекторий радиоволн в ионосферной плазме.	ПК-2
19. Линейная трансформация нормальных волн в неоднородной плазме. Метод фазовых интегралов.	ПК-2
20. Вертикальное зондирование ионосферы. Ионосферная станция. Ионограммы. Определение профиля электронной концентрации в ионосфере по ионограммам.	ПК-2
21. Наклонное зондирование ионосферы. Закон секанса. Теорема Брайта и Тьюва. Теорема Мартина.	ПК-2
22. Распространение свистящих атмосфериков. Лучевые траектории. Дисперсия свистов.	ПК-2
23. Лучевые траектории ленгмюровских волн в слоисто-неоднородной плазме.	ПК-2
24. Зондирование ионосферы сверху. Плазменные резонансы.	ПК-2

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

Оформить отчет по итогам выполнения зачетного задания.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) «Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме»

а) основная литература:

1. Бреховских Л. М. - Волны в слоистых средах. - М.: Наука, 1973. - 343 с.
2. Гинзбург В. Л. - Распространение электромагнитных волн в плазме. - М.: Наука, 1967. - 683 с.
3. Гершман Б. Н., Ерухимов Л. М., Яшин Ю. Я. - Волновые явления в ионосфере и космической плазме. - М.: Наука, 1984. - 392 с.
4. Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И. - Геометрическая оптика неоднородных сред. - М.: Наука, 1980. - 304 с.

б) дополнительная литература:

1. Дэвис К. - Радиоволны в ионосфере. - М.: Мир, 1973. - 502 с.

2. Теория волн: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]/Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П., [и др. - М.: Наука, 1990. - 432 с.

3. Железняков В. В. - Электромагнитные волны в космической плазме: Генерация и распространение. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 432 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);

2. Acrobat Professional 11.0 (номера лицензий: 65195558, 6 шт.);

3. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;

<http://www.biblioclub.ru>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования РФ 07.08.2020 № 918).

Автор: д.ф.-м.н., профессор Грач С.М.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Кудрин А.В.

Заведующий кафедрой: д.т.н., с.н.с. Калинин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.