

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

Кафедра электродинамики

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины
«Асимптотические методы теории волн»

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки
03.03.03 «Радиофизика»

Направленность образовательной программы
Радиофизика и электроника

Квалификация (степень) выпускника
бакалавр

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цели освоения дисциплины

Дисциплина «Асимптотические методы теории волн» относится к числу факультативных дисциплин образовательной программы бакалавров на радиофизическом факультете ННГУ по направлению подготовки **03.03.03 «Радиофизика»** по профилю (*направленности образовательной программы*) «Радиофизика и электроника». В соответствии с программой академического бакалавриата дисциплина «Асимптотические методы теории волн» осваивается обучающимися в **шестом семестре** образовательного цикла основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего профессионального образования (ВПО).

Изучение дисциплины базируется на знаниях и умениях, которые обучающиеся должны иметь в результате освоения содержания дисциплин базовой части профессионального цикла: «Механика», «Электричество и магнетизм», «Колебания и волны, оптика», «Атомная и ядерная физика», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Векторный и тензорный анализ».

Для освоения дисциплины «Асимптотические методы теории волн» студент **должен обладать способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7)**.

Освоение дисциплины «Асимптотические методы теории волн» является необходимым базовым образованием для изучения в 7-ом и 8-ом семестрах дисциплин «Физика волновых процессов», «Физическая электроника», «Методы радиофизических измерений» из профессионального цикла ОПП ВПО.

Целью освоения дисциплины «Асимптотические методы теории волн» является приобретение совокупности знаний основных физических принципов и законов, а также современных методов исследования распространения и локализации электромагнитных, акустических и других силовых полей в случаях, когда размеры занимаемой полем области пространства существенно превышают длину волны. Эти знания представляют собой значительную часть университетского образования в важнейшей области теоретической физики «Теория поля».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения Образовательной Программы (компетенциями выпускников)

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**	
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;	ОПК-1.1. Обладает фундаментальными знаниями в области физики и радиофизики. ОПК-1.2. Анализирует физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач. ОПК-1.3. Решает научно-	У1. Уметь самостоятельно приобретать новые знания об основных принципах, уравнениях (законах) и современных методах исследования распространения и локализации коротковолновых	Задача, собеседование

	<p>исследовательские задачи, в том числе в сфере педагогической деятельности.</p>	<p>электромагнитных, акустических и других силовых полей в пространственно неоднородных средах, используя современные образовательные и информационные технологии, а также критически анализируя наблюдаемые эффекты и результаты физических экспериментов в области радиофизики и радиоэлектроники.</p> <p>31. Знать современные образовательные и информационные технологии, чтобы самостоятельно приобретать новые знания об основных принципах, уравнениях (законах) и современных методах исследования распространения и локализации коротковолновых электромагнитных, акустических и других силовых полей в пространственно неоднородных средах, для решения конкретных задач в области радиофизики и радиоэлектроники.</p> <p>В1. Владеть современными образовательными и информационными технологиями и правильно использовать общенаучную и специальную терминологию, касающуюся основных принципов, уравнений (законов) и современных методов исследования распространения и локализации</p>	
--	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		<p>коротковолновых электромагнитных, акустических и других силовых полей в пространственно неоднородных средах, чтобы самостоятельно приобретать новые знания для корректной интерпретации наблюдаемых эффектов и результатов физических экспериментов в различных областях радиофизики, акустики и радиоэлектроники.</p>	
<p>ОПК-2. Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;</p>	<p>ОПК-2.1 Использует методы радиофизических измерений и методы обработки результатов</p> <p>ОПК-2.2 Формулирует задачи экспериментального и теоретического исследования в области радиофизики, использует радиофизическое измерительное оборудование и применяет теоретические методы</p> <p>ОПК-2.3 Применяет практические навыки радиофизических исследований и представления результатов</p>	<p>З1. Знать современные образовательные и информационные технологии и на основе общей информационной и библиографической культуры самостоятельно приобретать новые знания об основных принципах, уравнениях (законах) и современных методах исследования распространения и локализации коротковолновых электромагнитных, акустических и других силовых полей в пространственно неоднородных средах, чтобы использовать их с учётом основных требований информационной безопасности для решения конкретных стандартных задач в области профессиональной деятельности.</p> <p>У1. Уметь использовать базовые теоретические знания основных принципов, уравнений (законов) и современных</p>	<p>Задача, собеседование</p>

		<p>методов исследования распространения и локализации коротковолновых электромагнитных, акустических и других си-ловых полей в пространственно неоднородных средах и знания основ информационной и библиографической культуры, чтобы с применением информационно-коммуникационных технологий и требований информационной безопасности решать стандартные задачи в области профессиональной деятельности.</p> <p>В1. Владеть базовыми теоретическими знаниями основных принципов, урав-нений (законов) и современных методов исследования распространения и локализации коротковолновых электромагнитных, акустических и других сило-вых полей в пространственно неоднородных средах, а также основами информационной и библиографической культуры, чтобы с применением информационно-коммуникационных технологий и требований информационной безопасности решать стандартные задачи в области профессиональной</p>	
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		деятельности.	
--	--	---------------	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Общая трудоёмкость дисциплины «Асимптотические методы теории волн» составляет **2** зачетные единицы или всего **72** академических часа, из которых **33** часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (**32** часа практических занятий (семинаров) и **1** час мероприятий промежуточной аттестации) и **39** часов отводится на самостоятельную работу студента.

3.1. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов (тем) дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе		
		Контактная работа во взаимодействии с преподавателем, часы		Самостоятельная работа обучающегося, часы
		семинары	Всего	
Введение	2	1	1	1
Часть 1. Геометрическая оптика (ГО)				
Уравнения геометрической оптики в неоднородной среде	4	2	2	2
Общие свойства и некоторые методы решения уравнения эйконала	5	2	2	3
Уравнение переноса и законы изменения интенсивности в ГО	4	2	2	2
Отражение и преломление лучей на границе раздела сред	2	1	1	1
Геометрическая оптика слоисто-неоднородной среды	6	3	3	3
Матричный метод описания распространения лучей в центриро-	6	3	3	3

ванных линиях передачи силовых полей				
Закономерности распространения лучей в линиях передачи (периодических центрированных системах)	2	1	1	1
Матричный метод описания лучей в разъюстированных (нецентрированных) линиях передачи	2	1	1	1
Часть 2. Квазиоптика однородных линейных сред				
Элементы теории дифракции скалярных и векторных полей	6	3	3	3
Основные закономерности распространения дифрагированных коротковолновых полей	4	2	2	2
Дифференциальный метод квазиоптического описания распространения коротковолновых полей	3	1	1	2
Спектральный метод описания параксиальных волновых пучков	3	1	1	2
Аналогия лучевого и волнового описаний распространения полей в приближении параксиальной оптики	3	1	1	2
Распространение параксиальных волновых пучков гауссовой формы в однородном свободном пространстве	3	1	1	2
Волновые пучки в недифрагмированных открытых цилиндрических линиях передачи	4	2	2	2
Сопоставление свойств TEM_{mn} -мод и собственных лучей в открытых цилиндрических линиях передачи	5	2	2	3
Обобщения и приложения квазиоптической теории TEM_{mn} -мод открытых линий передачи	7	3	3	4
В т.ч.текущий контроль	1	1	1	-
Промежуточная аттестация – зачёт				

3.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Введение

Однородные и неоднородные линейные среды. Описание волновых процессов в неоднородных линейных средах. Волновое уравнение и уравнение Гельмгольца в задачах распространения электромагнитного поля, звука и упругих волн. Внутренний и внешний пространственные масштабы решений уравнения Гельмгольца. Области коротковолновой асимптотики. Вывод уравнения Гельмгольца из уравнений Максвелла.

ЧАСТЬ I. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА (ГО)

Раздел 2. Уравнения геометрической оптики в неоднородной среде

Приближение ГО для монохроматических полей в неоднородных средах. Вывод уравнений эйконала и переноса лучевой амплитуды из уравнения Гельмгольца. Понятие асимптотического разложения решения уравнения Гельмгольца. Вывод уравнений ГО для членов асимптотического ряда, образующего решение уравнения Гельмгольца. Вывод уравнений ГО из уравнений Максвелла.

Раздел 3. Общие свойства и некоторые методы решения уравнения эйконала

Решение уравнения эйконала с помощью характеристик системы уравнений в характеристической форме. Аналогия эйконала и действия в механике. Физический смысл эйконала и связанных с ним понятий: волновой фронт, поток энергии (луч), лучевой вектор, траектория луча, длина дуги луча. Уравнение траектории луча. Оптическая длина пути. Принцип Ферма. Дифференциальные уравнения для лучей в форме уравнений движения материальной точки в классической механике.

Раздел 4. Уравнение переноса и законы изменения интенсивности в ГО

Интенсивность света и закон сохранения энергии. Интенсивность поля волны иной физической природы. Уравнение переноса – закон сохранения интенсивности в ГО. Лучевые трубки. Изменение интенсивности вдоль лучевых трубок. Кривые волновые фронты и фокусирующиеся поля в лучевых трубках в однородной среде. Каустические поверхности. Изменение интенсивности вдоль луча в неоднородной среде. Использование решений лучевых уравнений для определения изменения интенсивности вдоль лучей. Лемма Соболева и ее применение к лучевым уравнениям. Уравнение для вектора поляризации поля. Геометрическая интерпретация изменения поляризации поля. Кручение траектории луча и кривизна луча.

Раздел 5. Отражение и преломление лучей на границе раздела сред

Принцип локальности и условия его применимости. Закон Снеллиуса и закон отражения для силовых полей в ГО.

Раздел 6. Геометрическая оптика слоисто-неоднородной среды

Лучи в сферически-слоистой среде. Плоский характер траектории луча. Закон Бугера. Аналогия уравнений распространения лучей в сферически-слоистой среде и движения материальной точки в симметричном центральном поле. Плоскостная среда. Распространение радиоволн в неоднородной земной атмосфере: приведенный показатель преломления, точки поворота лучей и каустические поверхности. Интенсивность поля и площадь поперечного сечения лучевой трубки в точке поворота луча. Лучевое уравнение в аксиально-симметричной среде. Траектории лучей в плоскостях, содержащих ось симметрии и перпендикулярных оси. Лучи в линзоподобных (фокусирующих) средах. Траектории лучей в плоскости, содержащей ось симметрии. Приближение параксиальности лучей. Параксиальные лучи в аксиально-симметричных средах с медленно меняющимися коэффициентами преломления. Параксиальные лучи в плоскости, проходящей через ось симметрии.

Раздел 7. Матричный метод описания распространения лучей в центрированных линиях передачи силовых полей

Математические основы матричного метода описания распространения параксиальных лучей: координаты луча, лучевая матрица для параксиальных лучей. Матрица преобразования координат луча на участке однородного пространства (перемещения лучей). Матрицы преобразования координат луча на плоской и сферической границах раздела сред. Матрица преобразования координат луча тонкой линзой и сферическим зеркалом. Свойства матриц преобразования координат луча: норма, обратные матрицы. Матрицы Фурье-преобразования и изменения масштаба. Простейшие матричные тождества как элементы алгебры матричных преобразований. Сопоставление матриц и оптических систем.

Раздел 8. Закономерности распространения лучей в линиях передачи (периодических центрированных системах)

Сопоставление резонаторов и цилиндрических линий передачи. Классификация цилиндрических линий передачи (и резонаторов) по свойствам траекторий распространяющихся лучей. Собственные лучи в периодических центрированных системах. Финитные и инфинитные траектории. Условия финитности траектории луча в периодической цилиндрической линии передачи. Условие устойчивости движения лучей в периодических центрированных системах.

Раздел 9. Матричный метод описания распространения лучей в разъюстированных (нецентрированных) линиях передачи

Линии передачи и резонаторы с элементами, смещенными относительно центральной оси.

Оператор смещения координат луча и его свойства. Эквивалентность центрированных и нецентрированных систем. Устойчивость движения лучей в разъюстированных периодических системах.

ЧАСТЬ II. КВАЗИОПТИКА ОДНОРОДНЫХ ЛИНЕЙНЫХ СРЕД

Раздел 10. Элементы теории дифракции скалярных и векторных полей

Дифракция и рассеяние. Принцип Гюйгенса. Принцип Гюйгенса-Френеля. Принцип Гюйгенса-Кирхгофа. Электродинамический принцип Гюйгенса и его модификации для задач дифракции на плоских объектах. Приближённые методы решения дифракционных задач: приближение Кирхгофа для скалярного поля; метод физической оптики.

Раздел 11. Основные закономерности распространения дифрагированных коротковолновых полей

Дифракция плоской волны на отверстии в экране и диаграмма направленности простейшего излучателя коротковолнового диапазона. Параксиальные волновые пучки гауссовой формы. Дифракция гауссова пучка на отверстии в экране. Угол дифракционной расходимости и дифракционная длина – основные параметры пространственного распределения дифрагированного поля. Соотношение между поперечным и продольным пространственными масштабами изменения лучевой амплитуды поля параксиального волнового пучка. Параксиальное приближение теории дифракции скалярного поля на отверстии в плоском экране. Дифракционная формула Френеля.

Раздел 12. Дифференциальный метод квазиоптического описания распространения коротковолновых полей

Параболическое (диффузионное) уравнение для амплитуды поля параксиального волнового пучка в однородной среде. Диффузия комплексной амплитуды поля. Решение параболического уравнения с помощью функции Грина. Продольный и поперечные компоненты векторной комплексной амплитуды электромагнитного поля параксиального волнового пучка. Связь продольного и поперечных компонентов поля в сечении параксиального пучка. Уравнение для поперечных компонентов векторной амплитуды поля параксиального пучка и его решение. Параксиальность как условие применимости квазиоптического описания распространения пучка – следствие из сопоставления свойств уравнений диффузии и Гельмгольца.

Раздел 13. Спектральный метод описания распространения параксиальных волновых пучков

Спектральное представление монохроматического поля параксиального волнового пучка в виде суперпозиции плоских волн. Определение комплексной лучевой амплитуды поля пучка в произвольной точке пространства по известному спектру пространственных частот его поля.

Раздел 14. Аналогия лучевого и волнового описаний распространения полей в приближении параксиальной оптики

Преобразование поля параксиального волнового пучка на участке свободного пространства (преобразование Френеля). Преобразование поля параксиального волнового пучка тонкой линзой. Свойства преобразований поля на участке свободного пространства и тонкой линзой. Операторы обратного преобразования поля параксиального пучка на участке свободного пространства и тонкой линзой. Оператор Фурье-преобразования поля.

Раздел 15. Распространение параксиальных волновых пучков гауссовой формы в однородном свободном пространстве

Основные характеристики структуры поля параксиального пучка гауссовой формы: ширина,

кривизна поверхности фазового фронта, интенсивность поля на оси. Сохранение формы распространяющегося пучка. Угловая расходимость поля распространяющегося гауссова пучка. Изменение характеристик структуры поля распространяющегося пучка, имеющего первоначально плоский фазовый фронт. Преобразование характеристик структуры поля сфокусированных и дефокусированных гауссовых пучков на пути их распространения.

Раздел 16. Волновые пучки в недифрагмированных открытых цилиндрических линиях передачи

Собственные типы волн (моды) линзовых (и иных периодических центрированных) линий передачи силовых полей: периодическая зависимость структуры поля от продольной координаты, особые сечения. Уравнение для лучевой амплитуды поля моды открытой недифрагмированной линзовой линии простейшего типа – интегральное уравнение Фредгольма второго рода с симметричным ядром: параметр фокусировки пучка, коэффициент трансформации поля моды на периоде системы. Решения уравнения Фредгольма: собственные функции (функции Эрмита). Поперечные структуры полей мод открытой недифрагмированной цилиндрической линии передачи. Каустические поверхности мод. Условие существования энергетически реализуемых мод. Поляризации полей мод в линиях передачи оптического излучения. Изменение структуры поля моды в пространстве между корректорами фазы. Угловая расходимость поля моды, излучаемого из открытой линии передачи в свободное пространство (угловая расходимость излучения, выходящего из двухзеркального резонатора). Решение уравнения Фредгольма: собственные значения (коэффициент трансформации поля моды на периоде системы) и постоянные распространения TEM_{mn} -мод.

Раздел 17. Сопоставление свойств TEM_{mn} -мод и собственных лучей в открытых цилиндрических линиях передачи

Сопоставление условий существования финитных траекторий лучей и энергетически реализуемых TEM_{mn} -мод в открытых линиях передачи. Сопоставление свойств геометрооптических и квазиоптических операторов преобразования характеристик распространяющегося поля: аддитивность операторов, связь с обратными себе операторами, консервативный характер преобразований поля в недифрагмированных линиях передачи и средах без диссипации. Полное соответствие тождеств матричных преобразований координат лучей и операторных преобразований полей параксиальных волновых пучков. Однозначное соответствие свойств квазиоптического оператора симметричного ядра интегрального уравнения Фредгольма и симметричной матрицы преобразования координат луча на периоде линзовой линии передачи. Использование TEM_{mn} -мод и собственных лучей для описания распространения полей в открытых линиях передачи.

Раздел 18. Обобщения и приложения квазиоптической теории TEM_{mn} -мод открытых линий передачи

Открытая линия передачи из эквидистантно расположенных двухфокусных корректоров фазы. Открытая линия передачи из двух типов эквидистантно расположенных разнофокусных линз (резонатор Фабри-Перо, образованный двумя различными сферическими зеркалами): условие устойчивости системы, зависимости размеров пучка главной моды на поверхностях линз от параметров линии передачи. Открытый резонатор Фабри-Перо из двух плоских зеркал с размещённой внутри него линзой (открытая линия передачи в виде двойной периодической последовательности одинаковых линз): условие устойчивости системы в зависимости от параметров резонатора. Открытые линии передачи с потерями: затухание TEM_{mn} -мод. Дифрагмированные открытые линии передачи: структуры полей, постоянные затухания TEM_{mn} -мод. Моды открытых резонаторов – собственные TEM_{mnq} -типы колебаний. Основные характеристики TEM_{mnq} -мод: собственные частоты, коэффициенты затухания, добротности, пространственная структура поля. Характеристическое уравнение открытого двухзеркального резонатора. Вырождение мод по частоте.

3.3. Список вопросов для контроля текущей успеваемости

Написать необходимые выражения и объяснить содержание следующих *понятий*

1. *Волновое* уравнение и уравнение *Гельмгольца* в неоднородной линейной среде.
2. Внутренний и внешний пространственные масштабы решений уравнения Гельмгольца, приближение *геометрической оптики*.
3. *Уравнение эйконала*. Физический смысл эйконала.
4. *Лучи* в ГО. Свойства *лучевого вектора*.
5. *Траектория и длина дуги луча*.
6. *Оптическая длина между точками на траектории луча*.
7. *Оптический путь. Принцип Ферма*.
8. Уравнения для координат луча и градиента эйконала и их аналоги в классической механике.
9. *Интенсивность в ГО*.
10. *Уравнение переноса* для лучевой амплитуды и его физическое содержание.
11. Изменение *интенсивности* вдоль *лучевых трубок*.
12. Фокусирующиеся поля в лучевых трубках и *каустические поверхности* в однородной среде.
13. Принцип локальности и законы отражения и преломления лучей (волн) на границе раздела сред в *ГО*.
14. Траектории *лучей* в сферически-слоистой среде: *закон Бугера*.
15. Траектории *лучей* в плоскостойкой среде: *точки поворота* и *каустические поверхности*.
16. Траектории *лучей* в аксиально-симметричной среде в плоскостях, содержащих ось симметрии и перпендикулярных оси.
17. Траектории лучей в линзоподобных (фокусирующих) средах в плоскости, содержащей ось симметрии.
18. *Приближение параксиальности. Параксиальные лучи* в аксиально-симметричных средах.
19. Математические основы *матричного метода описания* распространения параксиальных лучей.
20. Матрица *перемещения* (преобразования координат луча на участке свободного пространства).
21. Матрица преобразования координат *луча* на плоской границе раздела сред.
22. Матрица преобразования координат *луча* на сферической границе раздела сред.
23. Матрица преобразования координат луча *тонкой линзой* (сферическим зеркалом).
24. Свойства матриц преобразования координат луча: норма, обратные матрицы.
25. *Собственные лучи* в периодических центрированных системах.
26. Условие *устойчивости (финитного движения) лучей* в периодических центрированных системах.
27. *Разъюстированная линия передачи. Оператор смещения координат луча*.
28. *Принципы (вторичные источники поля) Гюйгенса и Гюйгенса-Френеля* в задачах *дифракции* волн скалярного поля.
29. *Принцип (вторичные источники поля) Гюйгенса-Кирхгофа* в задачах *дифракции* волн скалярного поля.
30. *Электродинамический принцип (вторичные источники поля) Гюйгенса* в задачах *дифракции* электромагнитных волн на плоских объектах.
31. Приближённые методы решения дифракционных задач: *приближение Кирхгофа* и *метод физической оптики*.
32. Дифракция плоской волны на отверстии в экране: *угловая ширина диаграммы направленности* излучения гигантской антенны.

33. Дифракция *параксиального волнового пучка гауссовой формы* на отверстии в экране: *угол дифракционной расходимости* и *дифракционная длина*.
34. *Параксиальное приближение* теории дифракции скалярного поля на отверстии в плоском экране: *дифракционная формула Френеля*.
35. *Параболическое (диффузионное) уравнение* для амплитуды поля параксиального волнового пучка в однородной среде.
36. Решение параболического уравнения для *амплитуды* поля параксиального волнового пучка: *диффузия* амплитуды, функция Грина, *дифракционная формула Френеля*.
37. *Спектральный метод* описания распространения *параксиальных волновых пучков*.
38. Связь продольного и поперечных компонентов комплексной лучевой амплитуды векторного поля параксиального электромагнитного пучка.
39. *Квазиоптический оператор преобразования поля* параксиального пучка *в свободном пространстве*.
40. *Квазиоптический оператор преобразования поля* параксиального пучка *тонкой линзой*.
41. Преобразование *ширины, кривизны фазового фронта и интенсивности поля на оси* параксиального сфокусированного пучка гауссовой формы при распространении в свободном пространстве.
42. *Угловая дифракционная расходимость* поля распространяющегося сфокусированного гауссова пучка.
43. Открытые цилиндрические линии (*периодические центрированные системы*) передачи силовых полей: *элементарные ячейки* периодической системы; *собственные (нормальные) типы волн (моды)*; *особые сечения*.
44. *Интегральное уравнение* для амплитуды поля *моды* открытой линзовой линии простейшего типа (*уравнение Фредгольма* с симметричным ядром): *параметр фокусировки, коэффициент трансформации поля моды на периоде системы*.
45. Решение *уравнения Фредгольма* с симметричным ядром: *собственные функции (функции Эрмита)*.
46. Поперечные структуры полей мод открытой линзовой линии простейшего типа.
47. *Условие существования* энергетически реализуемых мод в недиафрагмированных открытых цилиндрических линиях передачи.
48. *Угловая расходимость* поля, излучаемого из открытой линии передачи (или из резонатора) в свободное пространство.
49. Решение *уравнения Фредгольма*: *собственные значения* (коэффициент трансформации поля моды на периоде системы) и *постоянные распространения* TEM_{mn} -мод.
50. Основные характеристики TEM_{mnq} -мод открытых резонаторов (*собственные частоты, коэффициенты затухания, добротности, пространственная структура поля*).
51. Характеристическое уравнение открытого двухзеркального резонатора.

4. Образовательные технологии

1. Еженедельно теоретическое содержание каждого практического занятия (семинарского типа) в виде лекционного текста вместе с соответствующими контрольными вопросами из списка 3.3 и типовыми задачами рассылается старостам академических групп для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы студентов, а также формирования компетенций **ОПК–2** (способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии) и **ОПК–3** (способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности).

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы студентов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма групповой консультации по отдельным разделам дисциплины в виде ответов на вопросы через посредство электронной почты старосты академической группы.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Дисциплина «Асимптотические методы теории волн» вносит долевого вклада в формирование компетенций ОПК–1 и ОПК–2 выпускников Основной Профессиональной Образовательной Программы, которое предусмотрено в рамках утверждённого рабочего учебного плана для бакалавров на 2023-2023 учебный год по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» и профилю подготовки «Радиофизика и электроника». Содержание компетенций ОПК–1 и ОПК–2 с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, представлено в разделе 2 настоящей РПД.

ОПК-1:

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание фундаментальных понятий, принципов и положений электродинамики, основных законов теории поля, свойств различных сред	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.
Умение анализировать полученные знания и возможности их использования в профессиональной деятельности	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недо-

						ми, выполнены все задания в полном объеме.	четов
Навыки решения профессиональных задач в области электродинамики	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 оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ОПК-2:

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание закономерностей распространения электромагнитных волн в различных средах и методов расчета полей электромагнитных волн и колебаний	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.
Умение самостоятельно приобретать новые знания в области электродинамики, используя	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены

современные образовательные и информационные технологии	вие отказа обучающегося от ответа	ошибки.	все задания но не в полном объеме.	все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	объеме, но некоторые с недочетами.	отдельными не-существенными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	ны все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки самостоятельного приобретения новых знаний в области электродинамики с использованием современных образовательных и информационных технологий	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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

6.2. Для оценки результатов обучения применяется в соответствии с **учебным планом подготовки бакалавров** традиционная форма аттестации **зачёт** с системой оценивания **Зачтено** и **Не зачтено**. **Критерии оценок** представлены в **таблице 3**.

Таблица 3

Зачтено	Отличная, хорошая или удовлетворительная подготовка. Студент на удовлетворительно или лучше отвечает на вопросы программы–минимум и основные вопросы билета, а также на большинство дополнительных вопросов.
Не зачтено	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий, допускает значительные ошибки при ответах на большинство дополнительных вопросов. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.

6.3. Для оценивания результатов обучения в виде **знаний** используется **индивидуальное собеседование** по двум или трём вопросам билета, в каждом из которых студенту предлагается изложить часть одного из разделов **содержания дисциплины 3.2.2**.

Для оценивания итогов обучения в виде **умений** и **владений** используются практиче-

ские контрольные задания в виде краткой формулировки действий, которые следует выполнить для получения решения предложенной задачи, или описания ожидаемого результата решения предлагаемой задачи. Описание **показателей и критериев оценивания компетенций** на различных этапах их формирования приведено в **Приложении 1**, которое является неотъемлемой частью **РПД**.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Пример билета к зачету:

Вопрос 1. Траектории **лучей** в аксиально-симметричной среде в плоскостях, перпендикулярных и содержащих ось симметрии.

Вопрос 2. Дифракция **параксиального волнового пучка гауссовой формы** на отверстии в экране: **угол дифракционной расходимости и дифракционная длина**.

Вопрос 3. Основные характеристики TE_{mnq} -мод открытых резонаторов (собственные частоты, коэффициенты затухания, добротности, пространственная структура поля).

6.5. Методическими материалами, определяющими процедуры оценивания, являются некоторые разделы Федеральных Государственных Образовательных Стандартов и приказов Министерства образования и науки Российской Федерации по вопросам высшего профессионального образования в России. Используются также **методические материалы для определения процедур оценивания сформированности компетенций**, которые изложены в работах [6-7] списка основной литературы.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Асимптотические методы в теории волн. Составитель: Миловский Н.Д. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014, 138 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. Бабич В. М., Булдырев В. С. - Асимптотические методы в задачах дифракции коротких волн. Метод эталонных задач. - М.: Наука, 1972. - 456 с.
4. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.
5. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенции/. Составители: Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З. и др. Учебно-методическое пособие. Н. Новгород: ННГУ, 2023 [Электронный ресурс]. URL: http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf. Рег. номер 1496.17.04 (дата обращения 29.05.2023).
6. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988, 440 с.
7. Маркузе Д. Оптические волноводы. М.: Мир, 1974, 576 с.
8. Файн В. М., Ханин Я. И. - Квантовая радиофизика. - М.: Советское радио, 1965. - 608 с.
9. Ярив А. - Введение в оптическую электронику. - М.: Высшая школа, 1983. - 398 с.
10. Ваганов Р.Б., Каценеленбаум Б.З. Основы теории дифракции. М.: Наука, 1982, 272 с.

б) дополнительная литература:

1. Власов С.Н., Таланов В.И. Самофокусировка волн. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1997, 220 с.
2. Джеррард А., Бёрч Дж.М. Введение в матричную оптику. М.: Мир, 1978, 341 с.
3. Вайнштейн Л.А. Открытые резонаторы и открытые волноводы. М.: Соврадио, 1965. 476 с.
4. Каценеленбаум Б.З. Высокочастотная электродинамика. М.: Наука, 1966, 240 с.
5. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1983, 320 с.
6. О'Нейл. Введение в статистическую оптику. М.: Мир, 1966, 256 с.
7. Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И. - Геометрическая оптика неоднородных сред. - М.: Наука, 1980. - 304 с.
8. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения, М.: Наука, 1979, 328 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):
<http://e.lanbook.com/>;
<http://www.biblioclub.ru>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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 Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки **03.03.03 «Радиофизика»**, квалификация **бакалавр**.

Автор Программы

Миловский Н.Д.

Рецензент

Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой, профессор

Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.