

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
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Асимптотические методы теории волн
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.03.03 Радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Фундаментальная радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина <i>Б1.В.ДВ.02.01, асимптотические методы теории волн</i> относится к части ООП направления подготовки <i>03.03.03 Радиофизика</i> , 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 и (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	

<p>ПК-1. Способен анализировать текущую научную и научно-техническую литературу в области физики и радиофизики.</p>	<p>ПК-1.1. Применяет основные методы анализа текущей научной и научно-технической литературы в области физики и радиофизики. ПК-1.2. Анализирует текущую научную и научно-техническую литературу в области физики и радиофизики.</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. У1. Уметь использовать базовые теоретические знания основных принципов, уравнений (законов) и современных методов исследования распространения и локализации коротковолновых электромагнитных, акустических и других силовых 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. Владеть базовыми теоретическими знаниями основных принципов, уравнений (законов) и современных методов исследования распространения и локализации коротковолновых электромагнитных, акустических и других силовых 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 деятельности.</p>	<p>Собеседование, задача и задание</p>
---	--	---	--

ПК-2. Способен осваивать и применять новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.	<p>ПК-2.1. Обладает базовыми знаниями, необходимым и для освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p> <p>ПК-2.2. Осваивает и применяет новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.</p>	<p>Уметь 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, используя современные образовательные и информационные технологии, а также критически анализируя наблюдаемые эффекты и результаты физических экспериментов в области радиофизики и радиоэлектроники.</p> <p>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>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 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>	Собеседование, задача и задание
---	---	--	---------------------------------

3. Структура и содержание дисциплины

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 – экзамен/зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов (тем) дисциплины,	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа во взаимодействии с	Самостоятельная работа обучающегося, часы

форма промежуточной аттестации по дисциплине		семинарского	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 центрированных линиях передачи силовых полей	6	3	3	3
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	7	3	3	4
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	4	2	2	2

цилиндрических линиях передачи				
Сопоставление свойств ТЕМ _{mn} -мод и собственных лучей в открытых цилиндрических линиях передачи	5	2	2	3
Обобщения и приложения квазиоптической теории ТЕМ _{mn} -мод открытых линий передачи	7	3	3	4
В т. ч. текущий контроль		1		
Промежуточная аттестация – зачёт				

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся **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.

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	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	отказа обучающегося от ответа			ошибок	х ошибок		
<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

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.

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

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. <i>Волновое</i> уравнение и уравнение <i>Гельмгольца</i> в неоднородной	ПК-2

линейной среде.	
2. Внутренний и внешний пространственные масштабы решений уравнения Гельмгольца, приближение <i>геометрической оптики</i> .	ПК-2
3. <i>Уравнение эйконала</i> . Физический смысл эйконала.	ПК-2;
4. <i>Лучи</i> в ГО. Свойства <i>лучевого вектора</i> .	ПК-2
5. <i>Траектория и длина дуги луча</i> .	ПК-2
6. <i>Оптическая длина между точками на траектории луча</i> .	ПК-2
7. <i>Оптический путь. Принцип Ферма</i> .	ПК-2
8. Уравнения для координат луча и градиента эйконала и их аналоги в классической механике.	ПК-2
9. <i>Интенсивность в ГО</i> .	ПК-2
10. <i>Уравнение переноса</i> для лучевой амплитуды и его физическое содержание.	ПК-2
11. Изменение <i>интенсивности</i> вдоль <i>лучевых трубок</i> .	ПК-2
12. Фокусирующиеся поля в лучевых трубках и <i>каустические поверхности</i> в однородной среде.	ПК-2
13. Принцип локальности и законы отражения и преломления лучей (волн) на границе раздела сред в <i>ГО</i> .	ПК-2
14. Траектории <i>лучей</i> в сферически-слоистой среде: <i>закон Бугера</i> .	ПК-2
15. Траектории <i>лучей</i> в плоскостой среде: <i>точки поворота</i> и <i>каустические поверхности</i> .	ПК-2
16. Траектории <i>лучей</i> в аксиально-симметричной среде в плоскостях, перпендикулярных и содержащих ось симметрии.	ПК-2
17. Траектории лучей в линзоподобных (фокусирующих) средах в плоскости, содержащей ось симметрии.	ПК-2
18. <i>Приближение параксиальности. Параксиальные лучи</i> в аксиально-симметричных средах.	ПК-2
19. Математические основы <i>матричного метода описания</i> распространения параксиальных лучей.	ПК-2
20. Матрица <i>перемещения</i> (преобразования координат луча на участке свободного пространства).	ПК-2

21. Матрица преобразования координат луча на плоской границе раздела сред.	ПК-2
22. Матрица преобразования координат луча на сферической границе раздела сред	ПК-2
23. Матрица преобразования координат луча тонкой линзой (сферическим зеркалом).	ПК-2
24. Свойства матриц преобразования координат луча: норма, обратные матрицы	ПК-2
25. Собственные лучи в периодических центрированных системах.	ПК-2
26. Условие устойчивости (финитного движения) лучей в периодических центрированных системах.	ПК-2
27. Разъюстированная линия передачи. Оператор смещения координат луча.	ПК-2
28. Принципы (вторичные источники поля) Гюйгенса и Гюйгенса-Френеля в задачах дифракции волн скалярного поля.	ПК-2
29. Принцип (вторичные источники поля) Гюйгенса-Кирхгофа в задачах дифракции волн скалярного поля.	ПК-2
30. Электродинамический принцип (вторичные источники поля) Гюйгенса в задачах дифракции электромагнитных волн на плоских объектах.	ПК-2
31. Приближённые методы решения дифракционных задач: приближение Кирхгофа и метод физической оптики .	ПК-2
32. Дифракция плоской волны на отверстии в экране: угловая ширина диаграммы направленности излучения гигантской антенны.	ПК-2
33. Дифракция параксиального волнового пучка гауссовой формы на отверстии в экране: угол дифракционной расходимости и дифракционная длина .	ПК-2
34. Параксиальное приближение теории дифракции скалярного поля на отверстии в плоском экране: дифракционная формула Френеля .	ПК-2
35. Параболическое (диффузионное) уравнение для амплитуды поля параксиального волнового пучка в однородной среде.	ПК-1
36. Решение параболического уравнения для амплитуды поля параксиального волнового пучка: диффузия амплитуды, функция Грина, дифракционная формула Френеля .	ПК-1

37. Спектральный метод описания распространения параксиальных волновых пучков .	ПК-1
38. Связь продольного и поперечных компонентов комплексной лучевой амплитуды векторного поля параксиального электромагнитного пучка.	ПК-2
39. Квазиоптический оператор преобразования поля параксиального пучка в свободном пространстве .	ПК-1
40. Квазиоптический оператор преобразования поля параксиального пучка тонкой линзой .	ПК-1
41. Преобразование ширины, кривизны фазового фронта и интенсивности поля на оси параксиального сфокусированного пучка гауссовой формы при распространении в свободном пространстве.	ПК-1
42. Угловая дифракционная расходимость поля распространяющегося сфокусированного гауссова пучка.	ПК-2
43. Открытые цилиндрические линии (периодические центрированные системы) передачи силовых полей: элементарные ячейки периодической системы; собственные (нормальные) типы волн (моды); особые сечения .	ПК-1
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 .	ПК-1
45. Решение уравнения Фредгольма с симметричным ядром: собственные функции (функции Эрмита) .	ПК-1
46. Поперечные структуры полей мод открытой линзовой линии простейшего типа.	ПК-2
47. Условие существования энергетически реализуемых мод в недифрагмированных открытых цилиндрических линиях передачи.	ПК-1
48. Угловая расходимость поля, излучаемого из открытой линии передачи (или из резонатора) в свободное пространство.	ПК-1
49. Решение уравнения Фредгольма : собственные значения (коэффициент трансформации поля моды на периоде системы) и постоянные распространения TEM_{mn} -мод.	ПК-1
50. Основные характеристики TEM_{mnq} -мод открытых резонаторов (собственные частоты, коэффициенты затухания, добротности, пространственная структура поля).	ПК-1

51. Характеристическое уравнение открытого двухзеркального резонатора.

ПК-1

5.2.2. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-1

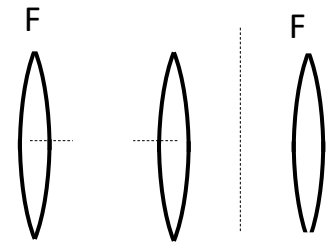
4. Записать *квазиоптический оператор преобразования поля параксиального пучка на участке свободного пространства*.
5. Записать *квазиоптический оператор преобразования поля параксиального пучка тонкой линзой*.

5.2.3. Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Написать и объяснить физический смысл *волнового* уравнения и уравнения *Гельмгольца* в неоднородной линейной среде.
2. На примере решения уравнения *Гельмгольца* объяснить содержание понятий внутреннего и внешнего пространственных масштабов и сформулировать приближение *геометрической оптики*.

5.2.4. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 8. Найти условие на диаметр D_R линз открытой линии (Рис.2), при выполнении которого можно пренебречь дифракционными потерями моды TEM_{00} . Заданы расстояние между линзами $L = 2F$, отношение $(L/\lambda) = 10^6$ этого расстояния к длине волны распространяющегося излучения, длина линии передачи $S = 100 \cdot L$ и потери 0.1%.



5.2.5. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

Задача 1. Найти параметр фокусировки и исследовать области устойчивости открытого резонатора (Рис.1) в зависимости от соотношения длины L и радиуса кривизны R .



Рис. 1

Задача 2. Найти параметр фокусировки и исследовать области устойчивости открытого резонатора (Рис.1), сферические зеркала которого имеют разные радиусы кривизны $R_{1,2}$.

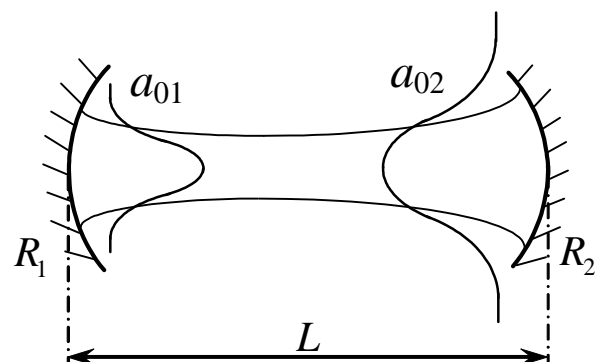


Рис. 1

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Асимптотические методы в теории волн. Составитель: Миловский Н.Д. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014, 138 с.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970, 855 с. – 18 экз.
3. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.
4. Ярив А. Введение в оптическую электронику. М.: Высшая школа, 1983, 398 с. – 12 экз.

б) дополнительная литература:

1. Ваганов Р.Б., Каценеленбаум Б.З. Основы теории дифракции. М.: Наука, 1982, 272 с. – 20 экз.
2. Каценеленбаум Б.З. Высокочастотная электродинамика. М.: Наука, 1966, 240 с. – 100 экз.
3. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1983, 319 с. – 63 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 912.

Автор (ы) Миловский Н.Д.

Рецензент (ы) Бакунов М.И.

Заведующий кафедрой Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиوفизического факультета/института

от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23.