

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

---

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

## **Рабочая программа дисциплины**

«Квазиоптика»

---

Уровень высшего образования  
бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.03 «Радиофизика»

---

Направленность образовательной программы  
«Радиофизика и электроника»

---

Квалификация (степень)  
бакалавр

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2023

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Квазиоптика» относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла образовательной программы по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика».

Дисциплина изучается на четвертом курсе бакалавриата, в 7-ом семестре. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения модулей «Общая физика» (дисциплин «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика») и «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Аналитическая геометрия», «Векторный и тензорный анализ»), модуля «Методы математической физики» из базовой части математического и естественно-научного цикла, а также дисциплин «Электродинамика», «Прикладная электродинамика» и «Асимптотические методы в электродинамике» базовой и вариативной части профессионального цикла.

**Целью освоения дисциплины «Квазиоптика»** является усвоение студентами современных методов исследования электромагнитных полей в области достаточно высоких частот, когда размеры области, занятой полем, существенно превышает длину волны.

## 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**	
ПК-1. Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1. Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2. Осваивает новые технологии радиоэлектронной,	Знать: основные методы исследования уравнений квазиоптики для электромагнитного поля  Уметь:	<i>Задача, собеседование</i>

	оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	использовать полученные знания при решении стандартных задач электродинамик и	
ПК-2. Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	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. ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи. ПК-2.3. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики.	Знать: основные разделы квазиоптики, а также существующие методы описания электромагнитного поля в рамках приближения квазиоптики  Уметь: анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования в рамках методов квазиоптики	Задача, собеседование

### 3. Структура и содержание дисциплины «Квазиоптика»

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа – практические занятия, в том числе 1 час – мероприятия текущего контроля успеваемости, и 1 час – мероприятия промежуточной аттестации), 39 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	самостоятельная работа обучающегося	целостный час	

разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)				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
Введение	5						2						2			3		
Интегральный подход к описанию полей дифракционных излучателей	16						8						8			8		
Метод параболического уравнения (ПУ)	16						8						8			8		
Квазиоптические волноводы и резонаторы	18						8						8			10		
Некоторые задачи теории распространения волн в нелинейных средах	16						6						6			10		
В т.ч.текущий контроль	1						1						1			-		
Промежуточная аттестация - Зачет																		

## Содержание разделов дисциплины

### *Раздел 1. Интегральный подход к описанию полей дифракционных излучателей*

1.1. Неприменимость ГО в окрестности каустик, фокальных точек, в области полутени и т.п.

1.2. Интегральный подход к описанию полей дифракционных излучателей. Дифракционная формула Френеля.

1.3. Метод стационарной фазы.

1.4. Поле в окрестности каустики. Функция Эйри и ее применение к описанию полей вблизи каустики.

### *Раздел 2. Метод параболического уравнения (ПУ)*

2.1. Дифференциальный подход к описанию полей дифракционных излучателей (метод параболического уравнения).

2.2. Параболическое уравнение (ПУ) для полей в слабо неоднородных средах.

- 2.3. Условия применимости ПУ.
- 2.4. Описание параболическим уравнением сильно расходящихся пучков и поля в окрестности каустик.
- 2.5. Роль дисперсионных уравнений в построении квазиоптического приближения.
- 2.6. ПУ для квазимонохроматических пакетов в неоднородных средах.
- 2.7. Волновые пучки в линзоподобной среде, структура их полей, вырождение типов волн. Связь волновых решений с геометрической оптикой.
- 2.8. Пульсирующие пучки в линзоподобной среде.
- 2.9. Автомодельные решения параболического уравнения для линзоподобной среды.

### *Раздел 3. Квазиоптические волноводы и резонаторы*

- 3.1. Неприменимость традиционных волновых и колебательных систем СВЧ-диапазона в области очень коротких длин волн. Сгущение спектра в сверхразмерных волноводах и резонаторах.
- 3.2. Физические принципы удержания полей и разрежения их спектров в открытых системах.
- 3.3. Волноводный и пучковый подходы к описанию открытых систем. Резонаторы с плоскими зеркалами.
- 3.4. Селекция колебаний по поперечным и продольным индексам. Методы селекции продольных колебаний.
- 3.5. Резонаторы с недиафрагмированными сферическими зеркалами. Интегральное уравнение для полей, структуры типов колебаний. Расходимость излучения, выходящего из двухзеркального резонатора.
- 3.6. Основные свойства открытых резонаторов со сферическими диафрагмированными зеркалами. Эквивалентные резонаторы. Неустойчивые резонаторы.

### *Раздел 4. Некоторые задачи теории распространения волн в нелинейных средах*

- 4.1. Теория самофокусировки волн как пример квазиоптического подхода. Описание нелинейных свойств среды. Механизмы нелинейности сред. Описание волн с эллиптической поляризацией. Уравнение для амплитуды и фазы пучка в неоднородной среде. Лучевое уравнение в квазиоптике.
- 4.2. Необходимое условие самофокусировки волн. Критическая мощность самофокусировки. Однородные волновые пучки и пакеты в нелинейной среде. Самофокусировка гауссовых пучков. Длина самофокусировки. Многофокусная картина.
- 4.3. Неустойчивость плоских волн в нелинейной среде. Достаточный критерий самофокусировки стационарных пучков.

## **4. Образовательные технологии**

Для реализации компетентностного подхода и стимулирования самостоятельной работы обучающихся предусмотрено проведение интерактивных форм занятий в виде семинаров по современным проблемам радиофизики в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

## **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

### **1. Виды самостоятельной работы:**

- еженедельно к каждому практическому занятию студентам предлагается выполнить домашнее задание в виде вопросов и заданий.

### **2. Порядок контроля выполнения самостоятельной работы:**

- контроль выполнения домашнего задания проводится в рамках каждого практического занятия;
- в рамках каждого аудиторного занятия проводится контроль посещаемости;
- список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Интегральный подход к описанию полей дифракционных излучателей. Дифракционная формула Френеля.
2. Метод стационарной фазы. Поле в окрестности каустики. Функция Эйри и ее применение к описанию полей вблизи каустики.
3. Дифференциальный подход к описанию дифракционных излучателей (метод параболического уравнения).
4. Параболическое уравнение (ПУ) для полей в слабо неоднородных средах. Условия применимости ПУ.
5. Описание параболическим уравнением сильно расходящихся пучков и поля в окрестности каустик.
6. Роль дисперсионных уравнений в построении квазиоптического приближения. Параболическое уравнение для квазимонохроматических пакетов в неоднородных средах.
7. Волновые пучки в линзоподобной среде, структура их полей, вырождение типов волн. Связь волновых решений с геометрической оптикой.
8. Пульсирующие пучки в линзоподобной среде. Автомодельные решения параболического уравнения для линзоподобной среды.
9. Квазиоптические волноводы и резонаторы. Неприменимость традиционных волновых и колебательных систем СВЧ-диапазона в области очень коротких длин волн. Сгущение спектра в сверхразмерных волноводах и резонаторах.

10. Физические принципы удержания полей и разрежения их спектров в открытых системах. Волноводный и пучковый подходы к описанию открытых систем.
11. Резонаторы с плоскими зеркалами.
12. Селекция колебаний по поперечным и продольным индексам. Методы селекции продольных колебаний.
13. Резонаторы с недиафрагмированными сферическими зеркалами. Интегральное уравнение для полей, структуры типов колебаний.
14. Основные свойства открытых резонаторов со сферическими диафрагмированными зеркалами. Эквивалентные резонаторы. Неустойчивые резонаторы.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание основных методов исследования уравнений квазиоптики для электромагнитного поля	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 использовать полученные знания при решении стандартных задач электродинамики	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания,	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в

	обучающе гося от ответа	ошибки.	полном объеме.	в полном объеме, но некоторые с недочетами.	некоторые с недочетами.	недочетам и, выполнен ы все задания в полном объеме.	полном объеме без недочетов
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

### 6.1. Описание шкал оценивания.

Для оценки результатов обучения студентов применяется двузначная шкала оценивания, которая имеет следующие значения: зачет, не зачет.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций:

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используется индивидуальное собеседование по двум теоретическим вопросам билета, в которых обучающемуся предлагается изложить части из двух разделов содержания дисциплины. Для оценивания результатов обучения в виде умений используется практическое контрольное задание в виде краткой формулировки действий, которые следует выполнить для получения решения предложенной задачи, или описания ожидаемого результата решения предлагаемой задачи.

6.3. Типовые контрольные задания для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенций:

*Пример экзаменационного билета:*

Вопрос 1. Параболическое уравнение (ПУ) для полей в слабо неоднородных средах. Условия применимости ПУ.

Вопрос 2. Селекция колебаний по поперечным и продольным индексам. Методы селекции продольных колебаний.

Задание. Нарисовать структуры полей типов  $TEM_{00}$ ,  $TEM_{10}$ ,  $TEM_{20}$  на круговых зеркалах открытого резонатора.



#### 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Болховская О.В., Горбунов А.А., Грибова Е.З., Грязнова И.Ю., Калинин А.В., Канаков О.И., Корчагин А.Б., Мануилов В.Н., Миловский Н.Д., Павлов И.С., Савикин А.П. Методические материалы по определению процедур оценивания сформированности компетенций: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023. – 26 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.unn.ru/books/met\\_files/met\\_mat\\_Mil.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/met_mat_Mil.pdf).

2. Петрова И.Э., Орлов А.В. Оценка сформированности компетенций. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: ННГУ, 2016. 48 с.

#### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Квазиоптика».

##### а) основная литература:

1. Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П., и др. - Теория волн: учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М.: Наука, 1990. - 432 с.
2. Маркузе Д. - Оптические волноводы: пер. с англ. - М.: Мир, 1974. - 576 с.
3. Вайнштейн Л. А. - Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.
4. Ваганов Р. Б., Каценеленбаум Б. З. - Основы теории дифракции. - М.: Наука, 1982. - 272 с.

##### б) дополнительная литература:

1. Бабич В. М., Булдырев В. С. - Асимптотические методы в задачах дифракции коротких волн. Метод эталонных задач. - М.: Наука, 1972. – 456 с.
2. Джеррард А., Берч Дж. М - Введение в матричную оптику. - М.: Мир, 1978. - 341 с.
3. Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И. - Геометрическая оптика неоднородных сред. - М.: Наука, 1980. - 304 с.
4. Власов С. Н. , Таланов В. И. - Самофокусировка волн. - Н. Новгород: Изд-во Ин-та приклад. физики РАН, 1997. - 220 с.
5. Ананьев Ю. А. - Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. - М.: Наука, 1979. - 328 с.
6. Vlasov S. N., Talanov V. I. The parabolic equation in the theory of wave propagation //Radiophysics and quantum electronics. – 1995. – Т. 38. – №. 1. – С. 1-12. DOI: 10.1007/BF01051853.

##### 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 с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика», квалификация - бакалавр.

Автор программы \_\_\_\_\_ Мартынова О.В.

Рецензент \_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

Заведующий кафедрой, проф. \_\_\_\_\_ Кудрин А.В.

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