

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**

---

УТВЕРЖДАЮ:

Декан радиофизического факультета \_\_\_\_\_ Матросов В.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **Рабочая программа дисциплины**

**«Основы геометрической оптики и квазиоптики»**

---

Уровень высшего образования

**бакалавриат**

---

Направление подготовки / специальность

**02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»**

---

Направленность образовательной программы

**«Информационные системы и технологии»**

---

Квалификация (степень)

**бакалавр**

---

Форма обучения

**очная**

---

Нижегород

2022

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

Дисциплина «Основы геометрической оптики и квазиоптики» относится к дисциплинам по выбору вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы (ООП) высшего профессионального образования (ВПО) по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» на радиоп физическом факультете ННГУ.

Дисциплина изучается в 6-ом семестре. Программа лекционного курса опирается на знания, которые студенты должны иметь в результате изучения содержания дисциплины «Электродинамика» и модуля «Математика» (дисциплин «Математический анализ», «Алгебра и геометрия», «Векторный и тензорный анализ») из базовой части математического и естественно-научного цикла.

### Целями освоения дисциплины являются:

Основной целью изучения дисциплины является ознакомление студентов с фундаментальными понятиями, принципами и положениями геометрической оптики и квазиоптики, изучение основ дифракции, свойств оптических волноводов и резонаторов.

Освоение дисциплины «Основы геометрической оптики и квазиоптики» является необходимым базовым образованием для изучения дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» из профессионального цикла ОПП ВПО, которая изучается в 7-ом семестре.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (Код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
<b>Профессиональные компетенции (ПК)</b>	
<p style="text-align: center;"><i>ПК-2</i></p> Способен к применению общенаучных базовых знаний математических и естественных наук, фундаментальной информатики и информационных технологий; применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и методы параллельной обработки данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии.  (этап освоения - базовый)	<p>Знать: основы современного математического аппарата и фундаментальные концепции методов геометрической оптики и квазиоптики</p> <p>Уметь: применять современный математический аппарат и фундаментальные концепции методов геометрической оптики и квазиоптики для исследования электромагнитного поля</p>

## 3. Структура и содержание дисциплины

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)		В том числе											Самостоятельная работа обучающегося, часы			
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них														
	Лекционные Занятия			Семинарского Занятия			Лабораторного Занятия			Всего							
	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное	Очное	Очно-заочное	Заочное		
Введение	2		1									1			1		
Уравнения геометрической оптики для электромагнитного поля	15		7									7			8		
Исследование уравнений геометрической оптики для электромагнитного поля	20		8									8			12		
Квазиоптика	18		8									8			10		
Квазиоптические волноводы и резонаторы	16		8									8			8		
В т.ч.текущий контроль	1		2					2				1			-		
Промежуточная аттестация - Зачет																	

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Введение

1.1. Внутренний и внешний пространственные масштабы в уравнении Гельмгольца. Область коротковолновой асимптотики.

Раздел 2. Уравнения геометрической оптики для электромагнитного поля

2.1. Геометрооптическое приближение для монохроматических полей в стационарных неоднородных средах.

2.2. Переход от уравнения Гельмгольца к уравнениям геометрической оптики (ГО). Понятие асимптотического разложения. Уравнение эйконала. Уравнение переноса для лучевой амплитуды. Переход от уравнений Максвелла к уравнениям ГО.

2.3. Вывод уравнений ГО из уравнений второго порядка для уравнений электромагнитных волн.

2.4. Условия применимости ГО.

### Раздел 3. Исследование уравнений геометрической оптики для электромагнитного поля

3.1. Лучи и волновые фронты. Лучевой вектор. Оптическая длина пути. Плотность энергии и поток энергии в ГО. Простейшие решения уравнения эйконала: плоские однородные и неоднородные волны, сферические волны. Комплексный эйконал и комплексный лучевой вектор. Сферические волны с центром в комплексной точке.

3.2. Интенсивность света. Лучевые трубки. Изменение интенсивности вдоль лучевых трубок. Изменение интенсивности света в однородной среде. Каустики. Изменение интенсивности света в неоднородной среде. Изменение амплитуды и поляризации электромагнитных волн вдоль лучей. Геометрическая интерпретация уравнения для поляризации.

3.3. Дифференциальное уравнение второго порядка для лучей в неоднородной среде. Аналогия с механикой материальной точки. Пример: лучи в сферически симметричной неоднородной среде. Формула Бугера. Пример: распределение интенсивности в прозрачном диэлектрическом цилиндре. Аналогия движения лучей в сферически симметричных средах с механикой материальной точки в центральном поле. Кривизна лучей.

3.4. Использование решения лучевых уравнений для определения изменения интенсивности вдоль лучей. Лемма Соболева и ее применение к лучевым уравнениям. Пример: изменение интенсивности в плоскостистой среде.

3.5. Лучи в линзоподобных (фокусирующих) средах. Идеальная фокусировка. Параксиальные лучи. Уравнение для параксиальных лучей.

### Раздел 4. Квазиоптика

4.1. Элементы теории дифракции скалярных и векторных полей. Принцип Гюйгенса-Френеля. Принцип Гюйгенса-Кирхгофа. Электродинамический принцип Гюйгенса. Метод физической оптики.

4.2. Дифракция плоской волны на прямоугольном отверстии.

4.3. Параболическое уравнение.

4.4. Параксиальный (квазиоптический) волновой пучок. Параксиальный гауссов пучок.

4.5. Автомодельные решения параболического уравнения.

### Раздел 5. Квазиоптические волноводы и резонаторы

- 5.1. Неприменимость традиционных волновых и колебательных систем СВЧ-диапазона в области очень коротких длин волн. Сгущение спектра в сверхразмерных волноводах и резонаторах.
- 5.2. Физические принципы удержания полей и разрежения их спектров в открытых системах.
- 5.3. Матричный метод описания лучей в центрированных оптических системах. Координаты луча. Лучевая матрица для параксиальных лучей. Матрицы перемещения и преломления лучей на плоской и сферической границах. Матрица преобразования для плоскослоистой среды, толстой и тонкой линз. Матрица Фурье-преобразования и изменения масштаба. Пример: определение фокусного расстояния линзы в неоднородной среде. Матричные тождества. Эквивалентные оптические системы.
- 5.4. Матричное описание свойств оптической системы.
- 5.5. Периодическая система фокусирующих элементов. Примеры определения устойчивости.
- 5.6. Лучевой образ сферической волны. Преобразование матрицы сферической волны оптической системой. Гауссов пучок - сферическая волна с комплексным центром. Преобразование гауссова пучка периодической оптической системой. Пример: гауссов пучок в двухзеркальном резонаторе.

#### **4. Образовательные технологии**

Для реализации компетентного 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. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Еженедельно текст каждой прочитанной лекции предлагается студентам для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы.
3. Список вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:
  1. Внутренний и внешний пространственные масштабы в уравнении Гельмгольца. Области квазистатики и коротковолновой асимптотики.
  2. Классификация оптических задач по величине радиуса первой зоны Френеля. Геометрическая оптика и квазиоптика.
  3. Переход от уравнения Гельмгольца к уравнениям геометрической оптики. Понятие асимптотического разложения.
  4. Уравнение эйконала. Простейшие решения уравнения эйконала.
  5. Уравнение первого порядка для амплитуды.
  6. Переход от уравнений Максвелла к уравнениям геометрической оптики.
  7. Аналогия между описанием лучей и уравнениями движения материальной точки.
  8. Оптическая длина луча.

9. Закон Бугера для центрально-симметричных сред и примеры его применения: распределение интенсивности в однородном диэлектрическом цилиндре (шаре).
10. Дифференциальное уравнение второго порядка для лучей в неоднородной среде.
11. Плотность энергии и поток энергии в геометрической оптике. Интенсивность света.
12. Уравнение переноса для лучевой амплитуды.
13. Лучевые трубки. Изменение интенсивности вдоль лучевых трубок. Понятие каустики.
14. Элементы теории дифракции скалярных и векторных полей. Принцип Гюйгенса-Френеля. Принцип Гюйгенса-Кирхгофа.
15. Электродинамический принцип Гюйгенса. Метод физической оптики.
16. 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.
17. Физические принципы удержания полей и разрежения их спектров в открытых системах.

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ПК-2: Способен к применению общенаучных базовых знаний математических и естественных наук, фундаментальной информатики и информационных технологий; применять в профессиональной деятельности современные языки программирования и методы параллельной обработки данных, операционные системы, электронные библиотеки и пакеты программ, сетевые технологии.

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ	
	Не зачтено	Зачтено
<u>Знания</u>	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми.
<u>Умения</u>	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания.
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 30 %	30 – 100 %

6.2. В соответствии с учебным планом подготовки предусмотрена процедура аттестации обучающихся в форме зачета в конце семестра. Шкала оценивания имеет два значения: зачет, не зачет.

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

Для оценивания результатов обучения в виде знаний и умений используется индивидуальное собеседование по двум теоретическим вопросам билета, в которых обучающемуся предлагается изложить часть из двух разделов содержания дисциплины.

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 экзаменационного билета:

Вопрос 1. Внутренний и внешний пространственные масштабы в уравнении Гельмгольца. Области квазистатики и коротковолновой асимптотики.

Вопрос 2. Оптическая длина луча.

6.5. 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, 2017. – 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 «Основы геометрической оптики и квазиоптики».**

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. [Борн М., Вольф Э. - Основы оптики. - М.: Наука, 1973. - 719 с.](#)
3. [Маркузе Д. - Оптические волноводы: пер. с англ. - М.: Мир, 1974. - 576 с.](#)
4. [Джеррард А., Берч Дж. М - Введение в матричную оптику. - М.: Мир, 1978. - 341 с.](#)
5. [Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И. - Геометрическая оптика неоднородных сред. - М.: Наука, 1980. - 304 с.](#)
6. [Власов С. Н. , Таланов В. И. - Самофокусировка волн. - Н. Новгород: Изд-во Ин-та приклад. физики РАН, 1997. - 220 с.](#)
7. [Вайнштейн Л. А. - Электромагнитные волны. - М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.](#)
8. [Ананьев Ю. А. - Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. - М.: Наука, 1979. - 328 с.](#)
9. [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. 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.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с ОС ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», квалификация - бакалавр.

Автор программы \_\_\_\_\_ Юрасова Н.В.

Рецензент \_\_\_\_\_ Гавриленко В.Г.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии Радиофизического факультета. Протокол заседания методической комиссии радиофизического факультета от 25 февраля 2021 № 01/21.