

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 № 10 от 02.12.2024 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

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.01 Основы геометрической оптики и квазиоптики относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|---|---|---|------------------------------------|-------------------------------|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| 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 | <p>ПК-2.1: Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, имеет научные знания в теории информационных систем</p> <p>ПК-2.2: Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности.</p> <p>ПК-2.3: Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий</p> | <p>ПК-2.1: Знать основы методологии системной инженерии в области исследования электромагнитного поля методами геометрической оптики и квазиоптики</p> <p>ПК-2.2: Уметь формализовать знания в области исследования электромагнитного поля методами геометрической оптики и квазиоптики до уровня, достаточного для его машинной обработки</p> <p>ПК-2.3: Знать: основы современного математического аппарата и фундаментальные концепции методов геометрической оптики и квазиоптики Уметь: применять современный математический аппарат и фундаментальные концепции методов геометрической оптики и квазиоптики для исследования электромагнитного поля</p> | Тест | Зачёт: Контрольные вопросы |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 32 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 0 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 39 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | |
|---|--------------|--|--|-------------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | |
| 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 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 72 | 32 | 0 | 33 | 39 |

Содержание разделов и тем 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 плоскостой 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 плоскостой 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.

Практические 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.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

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.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Метод физической оптики опирается на

- а) Принцип Гюйгенса-Френеля в) Принцип Френеля
б) Электродинамический принцип г) Принцип Гюйгенса-Кирхгофа
Гюйгенса

2. Какова траектория луча в однородной среде?

- а) прямая в) парабола
б) гипербола г) дуга

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------|--|
| зачтено | Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись |

| | |
|------------|--|
| Оценка | Критерии оценивания |
| | грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами |
| не зачтено | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|--|--|---|--|---|--|
| | не зачтено | | | зачтено | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | 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 и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых | При решении стандартных | Имеется минимальн | Продемонстрированы | Продемонстрированы | Продемонстрированы | Продемонстрированы |

| | | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|---|
| | навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | ый набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами | базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами | базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | творческий подход к решению нестандартных задач |
|--|--|---|---|---|---|---|---|

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

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

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. |
| не зачтено | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Теория волн : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1990. - 432 с. : граф. - ISBN 5-02-014050-3 (в пер.) : 3.10., 4 экз.
2. Борн Макс. Основы оптики / пер с англ. С. Н. Бреуса [и др.] ; под ред. Г. П. Мотулевич. - 2-е изд., испр. - М. : Наука, 1973. - 719 с. : ил. - 5.10., 1 экз.
3. Маркузе Д. Оптические волноводы : пер. с англ. / под ред. [и с предисл.] В. В. Шевченко. - М. : Мир, 1974. - 576 с. : черт. - 3.03., 3 экз.
4. Джеррард А. Введение в матричную оптику / пер. с англ. А. И. Божкова и Д. В. Власова ; под ред. [и с предисл.] В. В. Коробкина. - М. : Мир, 1978. - 341 с. : ил. - 2.10., 2 экз.
5. Кравцов Юрий Александрович. Геометрическая оптика неоднородных сред. - М. : Наука, 1980. - 304 с. : ил. - 3.30., 2 экз.
6. Власов Сергей Николаевич. Самофокусировка волн / РАН, Ин-т приклад. физики. - Н. Новгород : Изд-во Ин-та приклад. физики РАН, 1997. - 220 с. - ISBN 5-201-09307-8 : 22.00., 3 экз.
7. Вайнштейн Лев Альбертович. Электромагнитные волны. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1988. - 440 с. : ил. - ISBN 5-256-00064-0 (в пер.) : 2.90., 225 экз.
8. Ананьев Юрий Алексеевич. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. - М. : Наука, 1979. - 328 с. : ил. - 2.60., 1 экз.
9. Ваганов Роальд Борисович. Основы теории дифракции / АН СССР, Моск. физ. -техн. ин-т. - М. : Наука, 1982. - 272 с. : ил. - (Современные физико-технические проблемы). - 2.50., 20 экз.

Дополнительная литература:

1. Бабич Василий Михайлович. Асимптотические методы в задачах дифракции коротких волн. Метод эталонных задач. - М. : Наука, 1972. - 456 с. : черт. - 1.96., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Не предусмотрено

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), 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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Юрасова Надежда Валерьевна, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Гавриленко Владимир Георгиевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Кудрин Александр Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.11.2024, протокол № 06/24.