

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 в
электродинамике

(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.02.02, асимптотические методы в электродинамике</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* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-1. Способен анализировать текущую научную и научно-техническую литературу в области физики и радиофизики.	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.	<i>Знать: основные методы исследования уравнений геометрической оптики для электромагнитного поля</i> <i>Уметь: использовать полученные знания при решении стандартных задач электродинамики</i>	Собеседование, тест
ПК-2. Способен осваивать и применять новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в	ПК-2.1. Обладает базовыми знаниями, необходимыми для освоения новейших методов проведения теоретических и экспериментальных исследований в	<i>Знать: основные разделы геометрической оптики, а также существующие методы описания электромагнитного поля в рамках приближения геометрической оптики</i> <i>Уметь: самостоятельно приобретать новые знания, используя современные</i>	Собеседование, тест

области радиофизики.	области радиофизики. ПК-2.2. Осваивает и применяет новейшие методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики.	<i>образовательные и информационные технологии</i>	
----------------------	--	--	--

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 – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

	Вс ег	В том числе
--	------------------	--------------------

Наименование и краткое содержание разделов (тем) дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине		Контактная работа во взаимодействии с преподавателем, часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Введение	3		2		2	1
Уравнения ГО для электромагнитного поля	14		6		6	8
Исследование уравнений ГО для электромагнитного поля	14		6		6	8
Матричный метод описания лучей в центрированных оптических системах	10		4		4	6
Периодическая система фокусирующих элементов	8		4		4	4
Связь лучевого и волнового описаний в параксиальной квазиоптике	8		4		4	4
Гауссовы пучки	7		3		3	4
Обобщение лучевого описания на комплексные матрицы	7		3		3	4
В т. ч. текущий контроль	1		1		1	
Аттестация по дисциплине - зачет						

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

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. Геометрооптическое приближение для монохроматических полей в стационарных неоднородных средах. Переход от уравнения Гельмгольца к уравнениям ГО. Уравнение эйконала. Уравнение переноса для лучевой амплитуды. Переход от уравнений Максвелла к уравнениям ГО. Вывод уравнений ГО из уравнений второго порядка для уравнений электромагнитных волн. Условия применимости ГО.

2. Исследование уравнений ГО для электромагнитного поля. Лучи и волновые фронты. Лучевой вектор. Плотность энергии и поток энергии в ГО. Простейшие решения эйконала – плоские однородные и неоднородные волны, цилиндрические, сферические волны. Комплексный эйконал и комплексный лучевой вектор. Сферические волны с центром в комплексной точке.

3. Интенсивность света. Лучевые трубки. Изменение интенсивности вдоль лучевых трубок. Изменение интенсивности света в однородной среде. Каустики. Изменение интенсивности света в неоднородной среде.

4. Изменение амплитуды и поляризации электромагнитных волн вдоль лучей. Геометрическая интерпретация уравнения для поляризации.

5. Дифференциальное уравнение второго порядка для лучей в неоднородной среде. Аналогия с механикой материальной точки. Пример: лучи в сферически симметричной неоднородной среде. Пример: распределение интенсивности в прозрачном диэлектрическом цилиндре.

6. Аналогия движения лучей в сферически симметричных средах с механикой материальной точки в центральном поле. Финитные и инфинитные траектории. Кривизна лучей.

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

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

9. Матричный метод описания лучей в центрированных оптических системах. Координаты луча. Лучевая матрица для параксиальных лучей. Матрицы перемещения и преломления лучей на плоских и сферических границах. Матрица преобразования для плоско-слоистой среды, толстой и тонкой линз. Матрица Фурье-преобразования и изменения масштаба. Пример: определение фокусного расстояния линзы в неоднородной среде.

10. Матричные тождества. Эквивалентные оптические системы. Свойства матриц преобразования лучей в центрированных и нецентрированных системах. Сопоставление матриц и оптических систем. Преобразование лучей зеркалами.

11. Матричное описание свойств оптической системы.

12. Периодические системы фокусирующих элементов. Собственные вектора и собственные значения матриц преобразования. Устойчивые и неустойчивые системы.
13. Линзовый волновод с одинаковыми и разными линзами. Диаграмма устойчивости.
14. Волновод с неэквидистантными линзами. Резонатор с промежуточной линзой. Диаграмма устойчивости.
15. Связь лучевого и волнового описаний в параксиальной квазиоптике. Лучевые матрицы и соответствующие им операторы преобразования волнового пучка.
16. Лучевой образ сферической волны. Преобразование матрицы сферической волны оптической системой.
17. Гауссов пучок – сферическая волна с комплексным центром. Лучевой образ гауссова пучка. Комплексная кривизна волнового фронта и ее связь с шириной и радиусом кривизны волнового фронта гауссова пучка. Расходимость гауссова пучка. Инвариант гауссова пучка.
18. Преобразование гауссова пучка периодической оптической системой. Пример: Гауссов пучок в двухзеркальном резонаторе.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
Знание основных разделов геометрической оптики, а также существующих методов описания электромагнитного поля в рамках приближения	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 ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	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.

геометрической оптики	отказа обучающегося от ответа				ошибок		
Умение самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	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 негрубым и ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубым и 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, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в 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%

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
--------	--------------------

	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
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. Геометрооптическое приближение для монохроматических полей в стационарных неоднородных средах. Переход от уравнения Гельмгольца к уравнениям ГО. Уравнение эйконала. Уравнение переноса для лучевой амплитуды. Переход от уравнений Максвелла к уравнениям ГО. Вывод уравнений ГО из уравнений второго порядка для уравнений электромагнитных волн. Условия применимости ГО.	ПК-2
2. Исследование уравнений ГО для электромагнитного поля. Лучи и волновые фронты. Лучевой вектор. Плотность энергии и поток энергии в ГО. Простейшие решения эйконала – плоские однородные и неоднородные волны, цилиндрические, сферические волны. Комплексный эйконал и комплексный лучевой вектор. Сферические волны с центром в комплексной точке.	ПК-1

3. Интенсивность света. Лучевые трубки. Изменение интенсивности вдоль лучевых трубок. Изменение интенсивности света в однородной среде. Каустики. Изменение интенсивности света в неоднородной среде.	ПК-2
4. Изменение амплитуды и поляризации электромагнитных волн вдоль лучей. Геометрическая интерпретация уравнения для поляризации.	ПК-2
5. Дифференциальное уравнение второго порядка для лучей в неоднородной среде. Аналогия с механикой материальной точки. Пример: лучи в сферически симметричной неоднородной среде. Пример: распределение интенсивности в прозрачном диэлектрическом цилиндре.	ПК-1
6. Аналогия движения лучей в сферически симметричных средах с механикой материальной точки в центральном поле. Финитные и инфинитные траектории. Кривизна лучей.	ПК-1
7. Использование решения лучевых уравнений для определения изменения интенсивности вдоль лучей. Лемма Соболева и ее применение к лучевым уравнениям. Пример: изменение интенсивности в плоско- слоистой среде.	ПК-1
8. Лучи в линзоподобных (фокусирующих) средах. Идеальная фокусировка. Параксиальные лучи. Уравнение для параксиальных лучей.	ПК-2
9. Матричный метод описания лучей в центрированных оптических системах. Координаты луча. Лучевая матрица для параксиальных лучей. Матрицы перемещения и преломления лучей на плоских и сферических границах. Матрица преобразования для плоско-слоистой среды, толстой и тонкой линз. Матрица Фурье-преобразования и изменения масштаба. Пример: определение фокусного расстояния линзы в неоднородной среде.	ПК-1
10. Матричные тождества. Эквивалентные оптические системы. Свойства матриц преобразования лучей в центрированных и нецентрированных системах. Сопоставление матриц и оптических систем. Преобразование лучей зеркалами.	ПК-2
11. Матричное описание свойств оптической системы.	ПК-2
12. Периодические системы фокусирующих элементов. Собственные вектора и собственные значения матриц преобразования. Устойчивые и неустойчивые системы.	ПК-2
13. Линзовый волновод с одинаковыми и разными линзами. Диаграмма устойчивости.	ПК-1

14. Волновод с неэквидистантными линзами. Резонатор с промежуточной линзой. Диаграмма устойчивости.	ПК-1
15. Связь лучевого и волнового описаний в параксиальной квазиоптике. Лучевые матрицы и соответствующие им операторы преобразования волнового пучка.	ПК-1
16. Лучевой образ сферической волны. Преобразование матрицы сферической волны оптической системой.	ПК-2
17. Гауссов пучок – сферическая волна с комплексным центром. Лучевой образ гауссова пучка. Комплексная кривизна волнового фронта и ее связь с шириной и радиусом кривизны волнового фронта гауссова пучка. Расходимость гауссова пучка. Инвариант гауссова пучка.	ПК-2
18. Преобразование гауссова пучка периодической оптической системой. Пример: Гауссов пучок в двухзеркальном резонаторе.	ПК-1

5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Матрица перемещения луча \hat{G} имеет вид:

$$\begin{array}{ll}
 1. \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{L}{n} & -1 \end{pmatrix} & 3. \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{L}{n} & 1 \end{pmatrix} \\
 2. \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Ln & 1 \end{pmatrix} & 4. \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \frac{L}{n} & 0 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

2. Матрица преобразования Фурье:

$$\begin{array}{ll}
 1. \hat{\Phi}_a = \hat{T}_a^{-1} \hat{G}_a \hat{T}_a^{-1} & 3. \hat{\Phi}_a = \hat{T}_{1/a}^1 \hat{G}_a \hat{T}_{1/a}^1 \\
 2. \hat{\Phi}_a = \hat{T}_{-a} \hat{G}_a \hat{T}_{-a} & 4. \hat{\Phi}_a = \hat{T}_{-a} \hat{G}_a \hat{T}_a
 \end{array}$$

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Граничное условие для лучей на границе раздела двух сред:

$$\begin{array}{ll}
 1. (\vec{n}_{12}, n_2 \vec{s}_{21} - n_1 \vec{s}_{11}) = 0 & 3. [\vec{n}_{12}, n_2 \vec{s}_2 - n_1 \vec{s}_1] = 0 \\
 2. [\vec{n}_{12}, n_2 \vec{s}_{2\perp} - n_1 \vec{s}_{1\perp}] = 0 & 4. (\vec{n}_{12}, n_2 \vec{s}_{2\perp} - n_1 \vec{s}_{1\perp}) = 0
 \end{array}$$

2. Координаты лучей, используемые в матричном методе:

$$\begin{array}{ll}
 1. (\vec{r}_\perp, \vec{s}) & 3. (\vec{r}_\parallel, \vec{s}) \\
 2. (\vec{r}_\perp, n \vec{s}_\perp) & 4. (\vec{r}_\perp, n \vec{s}_\parallel)
 \end{array}$$

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Борн М., Вольф Э. - Основы оптики. - М.: Наука, 1970. - 855 с. – 18 экз.
2. Ваганов Р. Б., Каценеленбаум Б. З. - Основы теории дифракции. - М.: Наука, 1982. - 272 с. – 20 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.

Заведующий кафедрой Кудрин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета/института

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