

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Асимптотические методы в электродинамике

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 Асимптотические методы в электродинамике 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-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, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знать: основные методы исследования уравнений геометрической оптики для электромагнитного поля Уметь: использовать полученные знания при решении стандартных задач электродинамики ПК-1.2: Знать: основные методы исследования уравнений геометрической оптики для электромагнитного поля Уметь: самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	Тест	Зачёт: Контрольные вопросы
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	ПК-2.1: Знать: основные разделы геометрической оптики, а также существующие методы описания электромагнитного поля в рамках приближения геометрической оптики Уметь: использовать полученные знания при решении стандартных задач электродинамики ПК-2.2:	Тест	Зачёт: Контрольные вопросы

	<p>поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации. в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики</p>	<p>Знать: основные аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования электромагнитного поля в рамках приближения геометрической оптики</p> <p>Уметь: самостоятельно выбирать наиболее эффективный метод исследования для решения конкретных задач профессиональной деятельности</p> <p>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей профессиональной деятельности</p> <p>Уметь: анализировать полученные данные, формулировать выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p> <p>Владеть: навыками оценки полученных результатов и формулировки выводов для выполненной научно-исследовательской задачи</p>		
--	---	--	--	--

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	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- 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
Тема 1. Введение	3	0	2	2	1
Тема 2. Уравнения ГО для электромагнитного поля	14	0	6	6	8
Тема 3. Исследование уравнений ГО для электромагнитного поля	14	0	6	6	8
Тема 4. Матричный метод описания лучей в центрированных оптических системах	10	0	4	4	6
Тема 5. Периодическая система фокусирующих элементов	8	0	4	4	4
Тема 6. Связь лучевого и волнового описаний в параксиальной квазиоптике	8	0	4	4	4
Тема 7. Гауссовы пучки	7	0	3	3	4
Тема 8. Обобщение лучевого описания на комплексные матрицы	7	0	3	3	4
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Введение

- 1.1. Внутренний и внешний пространственные масштабы в случае уравнения Гельмгольца. Область коротковолновой асимптотики. Квазимонохроматические поля.
- 1.2. Основные сведения из общего курса электродинамики.

Раздел 2. Уравнения ГО для электромагнитного поля

- 2.1. Геометрооптическое приближение для монохроматических полей в стационарных неоднородных средах.
- 2.2. Переход от уравнения Гельмгольца к уравнениям 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 ГО для электромагнитного поля

3.1. Лучи и волновые фронты. Лучевой вектор. Оптическая длина пути. Принцип Ферма. Плотность энергии и поток энергии в ГО. Простейшие решения уравнения эйконала — плоские однородные и неоднородные волны, цилиндрические, 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. Уравнение эйконала в полярных координатах в однородной и радиально- неоднородной средах. Связь с решениями уравнения эйконала для плоскослоистой среды. ГО на сфере. Применение конформных преобразований к геометрооптическим решениям на плоскости.

3.4. 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. Фinitные и инфинитные траектории. Кривизна лучей.

3.5. 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.

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

Раздел 4. Матричный метод описания лучей в центрированных оптических системах

4.1. 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.

4.2. Свойства матриц преобразования лучей в центрированных и нецентрированных системах. Сопоставление матриц и оптических систем. Преобразование лучей зеркалами.

4.3. Матричное описание свойств оптической системы. Матрицы преобразования лучей в фокальной плоскости оптической системы, между сопряженными, главными плоскостями, преобразование телескопической системой. Влияние на оптическую систему ограничивающих диафрагм. Свойства линзового преобразования лучей.

Раздел 5. Периодическая система фокусирующих элементов

5.1. Собственные вектора и собственные значения матриц преобразования. Устойчивые и неустойчивые системы.

5.2. Линзовый волновод с одинаковыми и разными линзами. Диаграмма устойчивости.

5.3. Волновод с неэквидистантными линзами.

5.4. Резонатор с промежуточной линзой. Диаграмма устойчивости.

Раздел 6. Связь лучевого и волнового описаний в параксиальной квазиоптике

Лучевые матрицы и соответствующие им операторы преобразования волнового пучка.

Раздел 7. Гауссовы пучки

7.1. Лучевой образ сферической волны. Преобразование матрицы сферической волны оптической системой.

7.2. 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.

7.3. Преобразование гауссова пучка периодической оптической системой. Пример: гауссов пучок в двухзеркальном резонаторе.

Раздел 8. Обобщение лучевого описания на комплексные матрицы

8.1. Линзоподобная среда с поглощением, диафрагменный волновод.

8.2. Общая классификация резонаторов по свойствам их лучевых матриц.

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-1:

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

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. $(\vec{n}_{12}, n_2 \vec{s}_{2\perp} - n_1 \vec{s}_{1\perp}) = 0$

2. Координаты лучей, используемые в матричном методе:

1. (\vec{r}_\perp, \vec{s})
3. $(\vec{r}_\parallel, \vec{s})$
2. $(\vec{r}_\perp, n \vec{s}_\perp)$
4. $(\vec{r}_\perp, n \vec{s}_\parallel)$

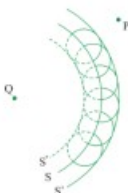
3. Условие параксиальности лучей в оптических системах:

1. $|\vec{s}_\perp| \ll 1$
3. $|n \vec{s}_\perp| \ll 1$
2. $|\vec{s}_\parallel| \ll 1$
4. $|n \vec{s}_\parallel| \ll 1$

4. Лучевой вектор \vec{s} определяется уравнением:

1. $\nabla \varphi = n \vec{s}$
3. $\Delta \varphi = \vec{s} n$
2. $\nabla \varphi = \vec{s} n^2$
4. $n \nabla \varphi = \vec{s}$

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

1. Согласно принципу Гюйгенса, каждая точка волновой поверхности S в момент времени t , до которой дошла волна, является источником, излучающим элементарную		а) сферическую волну б) цилиндрическую волну	в) гиперболическую волну г) плоскую волну
2. Метод физической оптики опирается на		а) Принцип Гюйгенса-Френеля б) Электродинамический принцип Гюйгенса	в) Принцип Френеля г) Принцип Гюйгенса-Кирхгофа
3. В зависимости от параметра Френеля p различают 3 области дифракции (λ – длина волны, a – характерный размер апертуры, z – продольная координата): 1. Геометрооптическая область, или прожекторная $p \ll 1$ 2. Область дифракции Френеля $p \sim 1$ 3. Область дифракции Фраунгофера $p \gg 1$ Здесь p		а) $p = \frac{\sqrt{\lambda a}}{z}$ б) $p = \frac{\sqrt{za}}{\lambda}$	в) $p = \frac{a}{\sqrt{\lambda z}}$ г) $p = \frac{\sqrt{\lambda z}}{a}$

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

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

Оценка	Критерии оценивания
	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	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 отдельным и 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 базовых навыков. 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 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-1

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.

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. 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.

9. Линзовый волновод с одинаковыми и разными линзами. Диаграмма устойчивости.

10. Волновод с неэквидистантными линзами. Резонатор с промежуточной линзой. Диаграмма устойчивости.

11. Связь лучевого и волнового описаний в параксиальной квазиоптике. Лучевые матрицы и соответствующие им операторы преобразования волнового пучка.

12. Преобразование гауссова пучка периодической оптической системой. Пример: Гауссов пучок в двухзеркальном резонаторе.

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

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

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

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

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

6. Матричное описание свойств оптической системы.

7. Периодические системы фокусирующих элементов. Собственные вектора и собственные значения матриц преобразования. Устойчивые и неустойчивые системы.

8. Лучевой образ сферической волны. Преобразование матрицы сферической волны оптической системой.

9. 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.

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. 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.
3. 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.
4. 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.
2. 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.
3. Кравцов Юрий Александрович. Геометрическая оптика неоднородных сред. - М. : Наука, 1980. - 304 с. : ил. - 3.30., 2 экз.
4. 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.
5. Ананьев Юрий Алексеевич. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. - М. : Наука, 1979. - 328 с. : ил. - 2.60., 1 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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Мартынова Ольга Владимировна, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Савикин Александр Павлович, кандидат физико-математических наук.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.