

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

Волны в нелинейных средах

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Электромагнитные волны в средах

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 Волны в нелинейных средах 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 анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области физики и радиофизики при решении задач своей профессиональной деятельности | <p>ПК-1.001: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.002: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p> | <p>ПК-1.001:</p> <p>Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений в области своей профессиональной деятельности;</p> <p>Уметь: определять наиболее актуальные направления исследований в области профессиональной деятельности;</p> <p>Владеть: навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований</p> <p>ПК-1.002:</p> <p>Знать: современные информационные и коммуникационные технологии сбора и анализа большого объема данных;</p> <p>Уметь: систематизировать и анализировать данные большого объема;</p> <p>Владеть: навыками работы с большим объемом данных, полученных из различных источников</p> | Тест | Экзамен: Контрольные вопросы Задания |
| ПК-2: Способен выполнять | ПК-2.001: Анализирует современное состояние | ПК-2.001: Знать: современное | Индивидуальное устное | |

| | | | | |
|--|--|---|---------------|--|
| теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики и радиофизики и оформлять их результаты | <p>исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.002: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.003: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.004: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области физики и радиофизики</p> | <p>состояние исследований, современные подходы к описанию различных явлений в области своей профессиональной деятельности;</p> <p>Уметь: анализировать современное состояние исследований в области физики и радиофизики;</p> <p>Владеть: навыками моделирования различных явлений в области физики и радиофизики</p> <p>ПК-2.002:</p> <p>Знать: современные подходы к моделированию различных явлений;</p> <p>Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования;</p> <p>Владеть: навыками проведения моделирования или эксперимента для решения конкретной научно-исследовательской задачи</p> <p>ПК-2.003:</p> <p>Знать: основные принципы организации научного исследования;</p> <p>Уметь: анализировать процесс выполнения научного исследования и, в случае необходимости, корректировать план исследования на определенных этапах;</p> <p>Владеть: навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p>ПК-2.004:</p> <p>Знать: современные подходы к оценке полученных результатов в области своей</p> | собеседование | <p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> |
|--|--|---|---------------|--|

| | | | | |
|--|--|---|--|-------------------------|
| | | <p>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> | | |
| <p>ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок</p> | <p>ПК-3.001: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.002: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.003: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p> | <p>ПК-3.001:</p> <p>Знать: основные требования к составлению научно-технических отчетов и документации;</p> <p>Уметь: применять заданные требования и правила к оформлению рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях;</p> <p>Владеть: навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов и обзоров, публикаций</p> <p>ПК-3.002:</p> <p>Знать: основные способы представления и продвижения результатов НИР;</p> <p>Уметь: структурировать презентационный материал, выделять основные результаты деятельности для их представления и расставлять акценты;</p> <p>Владеть: навыками представления результатов НИР перед научным и академическим сообществом.</p> <p>ПК-3.003:</p> <p>Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР;</p> <p>Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР;</p> | <p>Индивидуальное устное собеседование</p> | <p>Экзамен: Задания</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР. | | |
|--|--|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|-----------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 3 |
| Часов по учебному плану | 108 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 32 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 0 |
| - КСР | 2 |
| самостоятельная работа | 29 |
| Промежуточная аттестация | 45 Экзамен |

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 0 | 0 0 | 0 0 | 0 0 | 0 0 |
| Введение | 3 | 2 | | 2 | 1 |
| Часть 1. Нелинейная оптика. Трехчастотные взаимодействия в квадратичной среде | 6 | 4 | | 4 | 2 |
| Часть 1. Нелинейная оптика. Четырехчастотные взаимодействия в кубичной среде | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 1. Нелинейная оптика. Взаимодействие волн при вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) лазерного излучения | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 1. Нелинейная оптика. Взаимодействие волн лазерного излучения и звука при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 1. Нелинейная оптика. Пучки в нелинейной оптике | 5 | 3 | | 3 | 2 |
| Часть 1. Нелинейная оптика. Обращение волнового фронта (ОВФ) при отражении лазерного излучения от нелинейной среды | 4 | 2 | | 2 | 2 |

| | | | | | |
|--|-----|----|---|----|----|
| Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Солитонное решение уравнения Кортевега и де Вриза (КДВ) | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Солитонное решение уравнения Синус-Гордон (СГ) | 3 | 1 | | 1 | 2 |
| Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Солитонное решение нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Самоиндуцированная прозрачность двухуровневой поглощающей среды | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Стационарные световые импульсы в усиливающей резонансной среде при наличии линейного поглощения | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Решение нелинейных уравнений методом обратной задачи рассеяния (ОЗР) | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Решение нелинейных уравнений с помощью автопреобразования Бэклунда (АПБ) | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Обзор новых методов отыскания точных решений нелинейных уравнений | 4 | 2 | | 2 | 2 |
| Аттестация | 45 | | | | |
| КСР | 2 | | | 2 | |
| Итого | 108 | 32 | 0 | 34 | 29 |

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Введение

Основные свойства линейных и нелинейных сред. Диспергирующие и поглощающие среды. Физическая природа нелинейности, дисперсии и поглощения в электродинамике. Соотношения Крамерса-Кронига. Закономерности образования гармоник в нелинейной среде с дисперсией.

ЧАСТЬ 1. НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

Тема 2. Трехчастотные взаимодействия в квадратичной среде

Условия трехчастотного взаимодействия волн в квадратичной среде. Дисперсия и синхронизм. Описание трехволновых взаимодействий. Законы сохранения в среде без потерь. Соотношения Менли-Роу. Генерация второй гармоники. Взаимодействие волн в непоглощающей среде при точном синхронизме. Учет расстройки синхронизма. Влияние линейных потерь. Параметрические процессы в квадратичной среде. Параметрическое преобразование частоты вниз при высокочастотной накачке. Эффективность преобразования частоты вверх и вниз.

Тема 3. Четырехчастотные взаимодействия в кубичной среде

Условия четырехчастотного взаимодействия. Основные уравнения четырехволнового взаимодействия. Первые интегралы уравнений в отсутствие диссипации (соотношения Менли-Роу). Генерация третьей гармоники в непоглощающей среде. Влияние эффекта Керра на коэффициент преобразования в третью гармонику.

Тема 4. Взаимодействие волн при вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) лазерного излучения. Физическая природа ВКР. Стоксово излучение. Основные уравнения процесса ВКР. Порог генерации. Законы сохранения в отсутствие диссипации. Вынужденное комбинационное рассеяние вперед. Преобразование энергии накачки в волну стоксова излучения при ВКР назад. Антискстовое излучение.

Тема 5. Взаимодействие волн лазерного излучения и звука при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)

Физическая природа ВРМБ. Основные уравнения ВРМБ. Усиление стоксова излучения – трёх-частотное взаимодействие. Порог возбуждения. Законы сохранения в непоглощающей среде. Стоксово рассеяние вперед. Усиление стоксова излучения назад при ВРМБ. Основные уравнения. Законы сохранения. Расчет излучаемой мощности. Приближение заданного поля накачки.

Тема 6. Пучки в нелинейной оптике

Преобразование частот в волновых пучках в квадратичной среде. Основные уравнения. Параметрическое приближение. Взаимодействие двух усиливаемых пучков при постоянной высокочастотной накачке. Уравнения одноволнового приближения. Дифракция усиливаемых волн и эффект аномальной фокусировки. Параметрическая диффузия.

Тема 7. Обращение волнового фронта (ОВФ) при отражении лазерного излучения от не-линейной среды ОВФ при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в кубичной среде. ОВФ при ВКР. ОВФ при ВРМБ.

Тема 8. Двумерные лазерные пучки в активной резонансной среде с линейной диссипацией энергии Стационарные электромагнитные пучки в активной двухуровневой среде. Условия канализации светового пучка в резонансной среде с неоднородным распределением инверсии и неоднородным линейным поглощением. Свойства нелинейного волновода в однородно уширенной резонансной среде с однородным распределением инверсии и неоднородным линейным поглощением.

ЧАСТЬ 2. СОЛИТОНЫ – НОВОЕ ПОНЯТИЕ В ПРИКЛАДНЫХ НАУКАХ

Тема 9. Солитонное решение уравнения Кортевега и де Вриза (КДВ)

Использование уравнения КДВ в физике. Основные свойства уравнения КДВ. Стационарные решения уравнения КДВ – кноидальные волны. Фазовая плоскость стационарных волн. Одно-параметрическое семейство солитонных решений уравнения КДВ и его свойства: амплитуда, скорость распространения и пространственный масштаб уединённой волны.

Тема 10. Солитонное решение уравнения Синус-Гордон (СГ)

Применение уравнения СГ в физике. Основные свойства уравнения СГ. Солитонное решение уравнения СГ и его основные свойства. Стационарные решения уравнения СГ – осциллирующие и спиральные волны. Фазовая плоскость стационарных волн.

Тема 11. Солитонное решение нелинейного уравнения Шредингера (НУШ)

Использование НУШ в физике. Основные свойства НУШ. Солитонное решение НУШ и его основные свойства. Стационарное решение НУШ. Фазовая плоскость стационарных волн.

Тема 12. Самоиндуцированная прозрачность двухуровневой поглощающей среды

Основные уравнения электромагнитного излучения в резонансной среде. Уравнения для медленных амплитуд ультракоротких импульсов поля, поляризации и разности населённости уровней рабочего перехода резонансной (двухуровневой) среды. Основные свойства укороченных уравнений и их солитонное решение для поля на резонансной частоте. Свойства солитонного решения: амплитуда, скорость и длительность стационарного ультракороткого 2-импульса.

Тема 13. Стационарные световые импульсы в усиливающей резонансной среде при наличии линейного поглощения

Уравнения баланса для медленных амплитуд короткого импульса поля и разности населённости в активной двухуровневой среде. Солитонное решение уравнений баланса и его основные свойства: энергия, форма и скорость стационарного импульса.

Тема 14. Решение нелинейных уравнений методом обратной задачи рассеяния (ОЗР)

Решение стационарного уравнения Шредингера и определение спектральных данных его потенциалов. Обратная спектральная задача – восстановление потенциала с помощью решения уравнения Гельфанда-Левитана-Марченко (ГМЛ). Постановка ОЗР на примере уравнения КДВ. Эволюция спектральных данных во времени. Примеры расчетов коэффициентов рассеяния и их эволюционных изменений. Примеры решений уравнений ГМЛ и нахождения многосолитонных решений уравнения КДВ. Понятие об ЛА-паре линейных операторов. Альтернативная версия ОЗР. ЛА-пары операторов уравнений КДВ и НУШ.

Тема 15. Решение нелинейных уравнений с помощью автопреобразования Бэклунда
Преобразование Бэклунда. Автопреобразование Бэклунда (АПБ) и постановка задачи об отыскании иерархической системы решений нелинейного уравнения. Диаграмма Лэмба. АПБ уравнения СГ и его многосолитонные решения. АПБ уравнения КДВ.

Тема 16. Обзор новых методов отыскания точных решений нелинейных уравнений
Преобразование Хопфа-Хироты. Преобразование Миуры и законы сохранения. Метод вариации параметров стационарных волн.

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.

1. Martin Wegener. Extreme Nonlinear Optics. Springer, 2005, 225 p. Режим доступа: по подписке.
2. Manthos G. Papadopoulos, Andrzej J. Sadlej, Jerzy Leszczynsky. Non-Linear Optical Properties of Matter. Springer, 2006, 681 p. Режим доступа: по подписке.
3. E. Hanamura, Y. Kawabe, A. Yamanake. Quantum Nonlinear Optics. Springer, 2007, 240 p. Режим доступа: по подписке.
4. Boris A. Malomed. Soliton Management in Periodic Systems. Springer, 2006, 188 p. Режим доступа: по подписке.
5. Anjan Biswas, Daniela Milovic, Matthew Edwards. Mathematical Theory of Dispersion-Managed Optical Solitons. Springer, 2010, 170 p. Режим доступа: по подписке.
6. Ralf Menzel. Photonics. Springer, 2007, 1042 p. Режим доступа: по подписке.
7. Jurgen Eichler, Hans Joachim Eichler. Laser. Springer, 2006, 475 p. Режим доступа: по подписке.

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 - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. *Нелинейность среды*. Сравнение свойств линейных и нелинейных сред.
2. *Дисперсия и диссипация среды*. Влияние дисперсии и диссипации на распространение волн.
3. *Природа дисперсии и диссипации среды в электродинамике*. Соотношения Крамерса-Кронига.
4. *Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде*.
5. *Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при низкочастотной накачке в квадратичной среде* (общая характеристика процесса).

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. *Нелинейность среды*. Сравнение свойств линейных и нелинейных сред.
2. *Дисперсия и диссипация среды*. Влияние дисперсии и диссипации на распространение волн.
3. *Природа дисперсии и диссипации среды в электродинамике*. Соотношения Крамерса-Кронига.
4. *Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде*.
5. *Квадратичная среда. Условия и типы трехчастотного взаимодействия*.

Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | 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 | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Какое из нижеследующих свойств среды не является причиной возникновения в ней нелинейных явлений при распространении мощного широкополосного электромагнитного излучения?
 - 1.1) Наличие резонанса на частоте одного из переходов между квантовыми уровнями молекул среды.
 - 1.2) Наличие комбинационного рассеяния в спектре поглощения молекул среды.
 - 1.3) Наличие неоднородностей в диэлектрической проницаемости среды.
 - 1.4) Неравномерное выделение тепла при поглощении излучения из-за наличия неоднородного распределения проводимости среды.

1.5) Наличие электрострикции в среде.

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | 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 | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |

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 некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован 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 - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Задание 1. Провести сравнение и указать различия свойств линейных и нелинейных сред.

Задание 2. Объяснить роль дисперсии и влияние диссипации на распространение волн в диспергирующей среде.

Задание 3. Объяснить природу дисперсии и диссипации в линейной среде, а также физический смысл соотношений Крамерса-Кронига.

Задание 4. Сформулировать условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задание 1. Провести сравнение и указать различия свойств линейных и нелинейных сред.

Задание 2. Объяснить роль дисперсии и влияние диссипации на распространение волн в диспергирующей среде.

Задание 3. Объяснить природу дисперсии и диссипации в линейной среде, а также физический смысл соотношений Крамерса-Кронига.

Задание 4. Сформулировать условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде.

Задание 5. Определить роль эффекта Керра и синхронизма в процессе образования третьей гармоники в кубичной среде.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|---|
| 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», 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» |
| 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» |

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Нелинейность среды. Сравнение свойств линейных и нелинейных сред.
2. Дисперсия и диссипация среды. Влияние дисперсии и диссипации на распространение волн.
3. Природа дисперсии и диссипации среды в электродинамике. Соотношения Крамерса-Кронига.

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

1. Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде.
2. Квадратичная среда. Условия и типы трехчастотного взаимодействия.
3. Законы сохранения в консервативной (непоглощающей) квадратичной среде.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|---|
| 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», 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» |
| 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» |

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

Основная литература:

1. Калоджеро Франческо. Спектральные преобразования и солитоны : методы решения и исследования нелинейных эволюционных уравнений / пер. с англ. М. А. Ольшанецкого, Н. Т. Пашенко ; под ред. В. Е. Захарова. - М. : Мир, 1985. - 469 с. : ил. - 4.70., 1 экз.
2. Скотт Элвин. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике / пер. с англ. С. Я. Вышкинд и Т. М. Таранович ; под ред. Л. А. Островского и М. И. Рабиновича. - М. : Советское радио, 1977. - 367 с. - 2.44., 17 экз.
3. Бломберген Н. Нелинейная оптика : пер. с англ. / под ред. [и со вступ. ст.] С. А. Ахманова и Р. В. Хохлова. - М. : Мир, 1966. - 424 с. : черт. - 1.68., 14 экз.
4. Уизем Д. Линейные и нелинейные волны / пер. с англ. В. В. Жаринова ; под ред. А. Б. Шабата. - М. : Мир, 1977. - 622 с. : ил. - 3.38., 3 экз.
5. 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.
6. Карпман Владимир Иосифович. Нелинейные волны в диспергирующих средах. - М. : Наука, 1973. - 175 с. : граф. - 0.75., 4 экз.

Дополнительная литература:

1. Ахманов С. А. Проблемы нелинейной оптики : (Электромагнитные волны в нелинейных диспергирующих средах). 1962 - 1963 / Акад. наук СССР, Ин-т науч. информации. - М., 1964. - 295 с. : ил. - (Итоги науки). - 1.43., 2 экз.
2. Шен И. Р. Принципы нелинейной оптики / пер. с англ. И. Л. Шумая ; под ред. С. А. Ахманова. - М. : Наука, 1989. - 557, [1] с. : ил. - 6.00., 2 экз.
3. Ярив Амнос. Квантовая электроника / пер. с англ. под ред. Я. И. Ханина. - 2-е изд. - М. : Советское радио, 1980. - 488 с. : ил. - 2.70., 95 экз.
4. Ярив Амнос. Оптические волны в кристаллах / пер. с англ. С. Г. Кривошлыкова, Н. И. Петрова ; под ред. И. Н. Сисакяна. - М. : Мир, 1987. - 616 с. : ил. - 5.60., 2 экз.
5. Дмитриев Валентин Георгиевич. Прикладная нелинейная оптика. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Физматлит, 2004. - 512 с. - Библиогр.: с. 475 - 512. - ISBN 5-9221-0453-5 : 61.00., 4 экз.
6. Ньюэлл Алан. Солитоны в математике и физике / пер. с англ. И. Р. Габитова и др. ; под ред. А. В. Михайлова. - М. : Мир, 1989. - 323, [1] с. : ил. - 1.70., 2 экз.
7. Солитоны / ред.: Р. Буллаф, Ф. Кодри ; пер. с англ. Б. А. Дубровина [и др.] ; под ред. С. П. Новикова. - М. : Мир, 1983. - 408 с. : ил. - 3.50., 2 экз.
8. Солитоны и нелинейные волновые уравнения = Solitons and Nonlinear Wave Equations / пер. с англ. В. П. Гурария, В. И. Мацаева ; под ред. А. Б. Шабата. - М. : Мир, 1988. - 694 с. : ил. - ISBN 5-03-000732-6 : 120.00., 3 экз.

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

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Acrobat Professional 11.0 (номера лицензий: 65195558, 6 шт.)
3. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>;
<http://www.biblioclub.ru>.

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 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Миловский Николай Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, доцент.

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 18.12.2023, протокол № 09/23.