

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

Нелинейная оптика

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.02 Нелинейная оптика 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 квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: 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-1.2: 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-1.1: Знать проблемы и достижения современной науки (в частности, нелинейной оптики и методов решения нелинейных волновых уравнений) о взаимодействии излучения с веществом. Уметь использовать в своей научно-исследовательской деятельности знания о современных проблемах и новейших достижениях нелинейной оптики и, в частности, об удвоении частоты и обращении волнового фронта лазерного излучения, о самоиндуцированной прозрачности поглощающей резонансной среды, о гигантских световых импульсах в усиливающей лазерной среде, а также о применении метода обратной задачи рассеяния для решения нелинейных уравнений, описывающих различные эффекты в оптике, акустике и гидродинамике</p> <p>ПК-1.2: Знать проблемы и достижения современной науки (в частности, нелинейной оптики и методов</p>	<p>Задачи</p> <p>Собеседование</p> <p>Тест</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>решения нелинейных волновых уравнений) о взаимодействии излучения с веществом.</p> <p>Уметь использовать в своей научно-исследовательской деятельности знания о современных проблемах и новейших достижениях нелинейной оптики и, в частности, об удвоении частоты и обращении волнового фронта лазерного излучения, о самоиндуцированной прозрачности поглощающей резонансной среды, о гигантских световых импульсах в усиливающей лазерной среде, а также о применении метода обратной задачи рассеяния для решения нелинейных уравнений, описывающих различные эффекты в оптике, акустике и гидродинамике</p>		
<p>ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты</p>	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p>ПК-2.1:</p> <p>Знать фундаментальные причины и научно обоснованные представления о широком круге нелинейных явлений в электродинамике резонансных сред, диэлектриков, ферритов и плазмы, а также в некоторых других разделах радиофизики и областях физики, которые необходимы для решения научно-исследовательских задач в соответствии со своим профилем подготовки.</p> <p>Уметь объяснять физическую природу нелинейных эффектов при проведении научно-исследовательских работ, опираясь на знание фундаментальных причин и научно-обоснованных представлений о нелинейных явлениях в консервативных средах с квадратичной и кубической нелинейностями, резонансных средах и средах с наличием комбинационного</p>	<p>Задачи</p> <p>Собеседование</p> <p>Тест</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>рассеяния и рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.</p> <p>ПК-2.2: Знать фундаментальные причины и научно обоснованные представления о широком круге нелинейных явлений в электродинамике резонансных сред, диэлектриков, ферритов и плазмы, а также в некоторых других разделах радиофизики и областях физики, которые необходимы для решения научно-исследовательских задач в соответствии со своим профилем подготовки. Уметь объяснять физическую природу нелинейных эффектов при проведении научно- исследовательских работ, опираясь на знание фундаментальных причин и научно-обоснованных представлений о нелинейных явлениях в консервативных средах с квадратичной и кубичной нелинейностями, резонансных средах и средах с наличием комбинационного рассеяния и рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.</p> <p>ПК-2.3: Знать фундаментальные причины и научно обоснованные представления о широком круге нелинейных явлений в электродинамике резонансных сред, диэлектриков, ферритов и плазмы, а также в некоторых других разделах радиофизики и областях физики, которые необходимы для решения научно-исследовательских задач в соответствии со своим профилем подготовки. Уметь объяснять физическую природу нелинейных эффектов при проведении научно- исследовательских работ,</p>		
--	--	---	--	--

		<p>опираясь на знание фундаментальных причин и научно-обоснованных представлений о нелинейных явлениях в консервативных средах с квадратичной и кубичной нелинейностями, резонансных средах и средах с наличием комбинационного рассеяния и рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.</p> <p>ПК-2.4: Знать фундаментальные причины и научно обоснованные представления о широком круге нелинейных явлений в электродинамике резонансных сред, диэлектриков, ферритов и плазмы, а также в некоторых других разделах радиофизики и областях физики, которые необходимы для решения научно-исследовательских задач в соответствии со своим профилем подготовки. Уметь объяснять физическую природу нелинейных эффектов при проведении научно-исследовательских работ, опираясь на знание фундаментальных причин и научно-обоснованных представлений о нелинейных явлениях в консервативных средах с квадратичной и кубичной нелинейностями, резонансных средах и средах с наличием комбинационного рассеяния и рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.</p>		
--	--	---	--	--

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/ лабора торные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Введение	1	1		1	
Раздел 1. Нелинейная оптика. Тема 1. Трехчастотные взаимодействия в квадратичной среде	6	3		3	3
Раздел 1. Тема 2. Четырехчастотные взаимодействия в кубичной среде	4	2		2	2
Раздел 1. Тема 3. Взаимодействие волн при вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) лазерного излучения	5	3		3	2
Раздел 1. Тема 4. Взаимодействие волн лазерного излучения и звука при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)	5	3		3	2
Раздел 1. Тема 5. Пучки в нелинейной оптике	6	3		3	3
Раздел 1. Тема 6. Обращение волнового фронта (ОВФ) при отражении лазерного излучения от нелинейной среды.	4	2		2	2
Раздел 1. Тема 7. Двумерные лазерные пучки в активной резонансной среде с линейной диссипацией энергии	2	1		1	1
Раздел 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Тема 1. Солитонное решение уравнения Кортевега и де Вриза (КДВ)	4	2		2	2
Раздел 2. Тема 2. Солитонное решение уравнения Синус-Гордон (СГ).	2	1		1	1
Раздел 2. Тема 3. Солитонное решение нелинейного уравнения Шредингера (НУШ).	4	2		2	2
Раздел 2. Тема 4. Самоиндуцированная прозрачность двухуровневой поглощающей среды.	4	2		2	2
Раздел 2. Тема 5. Стационарные световые импульсы в усиливающей резонансной среде при наличии линейного поглощения	4	2		2	2
Раздел 2. Тема 6. Решение нелинейных уравнений методом обратной задачи рассеяния (ОЗР)	4	2		2	2
Раздел 2. Тема 7. Решение нелинейных уравнений с помощью автопреобразования Бэклунда.	4	2		2	2

Раздел 2. Тема 8. Обзор новых методов отыскания точных решений нелинейных уравнений.	2	1		1	1
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

Содержание разделов и тем дисциплины

-

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.

Еженедельно текст прочитанной лекции и соответствующие вопросы для контроля текущей успеваемости из рассылаются по электронной почте обучающимся для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы и создания личного портфолио по дисциплине «Нелинейная оптика а также с целью формирования компетенций ОПК-3 (способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач) и ПК-1 (способность использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики)

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 - Задачи) 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.

Задание 6. Записать закон сохранения чисел квантов при ВКР лазерного излучения в консервативной среде.

Задание 7. Найти порог генерации стоксовой частоты при вынужденном комбинационном рассеянии.

Задание 8. Провести сравнение описаний распространения стоксова излучения вперёд и назад при ВКР поля лазерной генерации.

Задание 9. Найти порог возбуждения вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ).

Задание 10. Провести сравнение описаний распространения стоксова излучения вперёд и назад при ВРМБ поля лазерной генерации и гиперзвука.

Задание 11. Сформулировать основное свойство однопараметрических солитонных решений уравнения КдВ.

Задание 12. Сформулировать основное свойство однопараметрических солитонных решений уравнения Синус-Гордон.

Задание 13. Сформулировать основное свойство однопараметрических солитонных решений нелинейного уравнения Шрёдингера.

Задание 14. Сформулировать концептуальное содержание обратной задачи рассеяния как метода решения нелинейных уравнений.

Задание 15.. Сформулировать концептуальную идею автопреобразования Беклунда и объяснить содержание диаграммы Лэмба.

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

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. Указать условия и типы трехчастотного взаимодействия в квадратичной среде.

Задание 6. Записать законы сохранения в консервативной квадратичной среде.

Задание 7. Определить роль синхронизма и граничных условий в генерации второй гармоники в квадратичной среде по двухволновой схеме $1\omega + 1\omega = 2\omega$.

Задание 8. Указать условия и разновидности четырехчастотного взаимодействия в кубичной среде.

Задание 9. Записать законы сохранения Менли-Роу в консервативной кубичной среде.

Задание 10. Определить роль эффекта Керра и синхронизма в процессе образования третьей гармоники в кубичной среде.

Задание 11. Объяснить природу комбинационного рассеяния света.

Задание 12. Записать закон сохранения чисел квантов при ВКР лазерного излучения в консервативной среде.

Задание 13. Найти порог генерации стоксовой частоты при вынужденном комбинационном рассеянии.

Задание 14. Провести сравнение описаний распространения стоксова излучения вперед и назад при ВКР поля лазерной генерации.

Задание 15. Объяснить природу вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ).

Задание 16. Найти порог возбуждения вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ).

Задание 17. Записать закон сохранения квантов излучения и гиперзвука при ВРМБ лазерного излучения в консервативной среде.

Задание 18. Провести сравнение описаний распространения стоксова излучения вперед и назад при ВРМБ поля лазерной генерации и гиперзвука.

Задание 19. Нарисовать схему и объяснить условия реализации эксперимента по обращению волнового фронта (ОВФ) лазерного излучения при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в нелинейной кубичной среде.

Задание 20. Объяснить природу и свойства ультракороткого 2π -импульса-солитона в поглощающей резонансной среде: форма, максимальная амплитуда поля, скорость распространения и длительность.

Задание 21. Объяснить природу и свойства короткого импульса-солитона в активной резонансной среде: скорость распространения, энергия, максимальная интенсивность и длительность

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне

Оценка	Критерии оценивания
	не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) 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.
4. Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде.
5. Квадратичная среда. Условия и типы трехчастотного взаимодействия.
6. Законы сохранения в консервативной (непоглощающей) квадратичной среде.
7. Влияние синхронизма и граничных условий на процесс образования второй гармоники в квадратичной среде по двухволновой схеме $1\omega + 1\omega = 2\omega$.
8. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при низкочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).
9. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при высокочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).
10. Кубичная среда. Условия и разновидности четырехчастотного взаимодействия.
11. Законы сохранения в консервативной кубичной среде.
12. Влияние эффекта Керра и синхронизма на эффективность процесса образования третьей гармоники в кубичной среде.
13. Природа комбинационного рассеяния и вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) лазерного излучения.

14. Законы сохранения при ВКР лазерного излучения.
15. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВКР поля лазерной генерации.
16. Условия эффективной генерации антистоксова излучения при ВКР лазерного излучения.
17. Природа рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ).
18. Законы сохранения при ВРМБ лазерного излучения и гиперзвука.
19. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВРМБ поля лазерной генерации и гиперзвука (при условии синхронизма).
20. Обращение волнового фронта (ОВФ) при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в нелинейной кубической среде.
7. Влияние синхронизма и граничных условий на процесс образования второй гармоники в квадратичной среде по двухволновой схеме $1\omega + 1\omega = 2\omega$.
8. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при низкочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).
9. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при высокочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).
10. Кубическая среда. Условия и разновидности четырехчастотного взаимодействия.
11. Законы сохранения в консервативной кубической среде.
12. Влияние эффекта Керра и синхронизма на эффективность процесса образования третьей гармоники в кубической среде.
13. Природа комбинационного рассеяния и вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) лазерного излучения.
14. Законы сохранения при ВКР лазерного излучения.
15. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВКР поля лазерной генерации.
16. Условия эффективной генерации антистоксова излучения при ВКР лазерного излучения.
17. Природа рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ).
18. Законы сохранения при ВРМБ лазерного излучения и гиперзвука.
19. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВРМБ поля лазерной генерации и гиперзвука (при условии синхронизма).

20. Обращение волнового фронта (ОВФ) при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в нелинейной кубичной среде.

21. Самоиндуцированная прозрачность (СИ) резонансной поглощающей среды (условия реализации СИ, основные параметры солитонного импульса и процесса его распространения).

22. Стационарный короткий импульс солитонного типа в активной резонансной среде (условия реализации, основные параметры солитонного импульса и процесса его распространения).

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - 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. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при низкочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).

6. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при высокочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса).

7. Влияние эффекта Керра и синхронизма на эффективность процесса образования третьей гармоники в кубичной среде.

8. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВКР поля лазерной генерации.

9. Условия эффективной генерации антистоксова излучения при ВКР лазерного излучения.

10. Законы сохранения при ВРМБ лазерного излучения и гиперзвука.

11. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВРМБ поля лазерной генерации и гиперзвука (в условиях синхронизма).

12. Основные свойства солитонного решения уравнения КдВ.

13. Основные свойства солитонного решения уравнения Синус-Гордон.

14. Основные свойства солитонного решения нелинейного уравнения Шрёдингера.

15. Стационарный короткий импульс солитонного типа в активной резонансной среде (условия реализации, основные параметры солитонного импульса и процесса его распространения).

16. Метод обратной задачи рассеяния (ОЗР) – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных.

17. Автопреобразование Бэклунда (АПБ) – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.1.5 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.

2. Какое из уравнений называется (и является) уравнением Кортевега де Вриза (КдВ)?

$$2.1) \frac{\partial u}{\partial t} + a u'_x + b u''_{xx} = 0 \quad 2.2) \frac{\partial u}{\partial t} + a u'_x + b u u''_{xx} = 0$$

$$2.3) \frac{\partial u}{\partial t} + u u'_x + b u''_{xx} = 0$$

$$2.4) \frac{\partial u}{\partial t} + a u u'_x + u'''_{xxx} = 0$$

2.5)

$$\frac{\partial u}{\partial t} - 6 u^2 u'_x + u'''_{xxx} = 0$$

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

Какое из уравнений, описывающих изменение комплексной амплитуды поля

$$\tilde{u}(t, x) \equiv u(t, x) \exp [i \theta(t, x)]$$

при стационарной самофокусировке монохроматических пучков ($t \equiv z$) или автомодуляции одномерных квазимонохроматических волновых пакетов, называется нелинейным уравнением Шрёдингера (НУШ)?

$$1) \frac{\partial u}{\partial t} - \tilde{u}'''_{xxx} + i \beta \tilde{u}^2 u = 0 \quad 2) \frac{\partial u}{\partial t} - i u''_{xx} + i \beta u \tilde{u} = 0$$

$$3) i \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} + \tilde{u}''_{xx} + \beta u^2 \tilde{u} = 0$$

$$4) \quad i \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} + u \tilde{u}_{xx}'' + \beta u^2 \tilde{u} = 0$$

$$5) \quad i \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} + \beta \tilde{u}_{xxx}''' + u^2 \tilde{u} = 0$$

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	знаний вследствие отказа обучающегося от ответа		много негрубых ошибок	подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	подготовки . Допущено несколько несущественных ошибок	подготовк и. Ошибок нет.	
<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 отдельным 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 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 - 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
4. Условия образования частотных гармоник в нелинейной диспергирующей среде
5. Квадратичная среда. Условия и типы трехчастотного взаимодействия
6. Законы сохранения в консервативной (непоглощающей) квадратичной среде
7. Влияние синхронизма и граничных условий на процесс образования второй гармоники в квадратичной среде по двухволновой схеме $1\omega + 1\omega = 2\omega$.
8. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при низкочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса)
9. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при высокочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса)
10. Кубичная среда. Условия и разновидности четырехчастотного взаимодействия
11. Законы сохранения в консервативной кубичной среде
12. Влияние эффекта Керра и синхронизма на эффективность процесса образования третьей гармоники в кубичной среде
13. Природа комбинационного рассеяния и вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) лазерного излучения
14. Законы сохранения при ВКР лазерного излучения

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

1. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВКР поля лазерной генерации

2. Условия эффективной генерации антистоксова излучения при ВКР лазерного излучения
3. Рассеяние излучения на волнах плотности вещества и вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)
4. Законы сохранения при ВРМБ лазерного излучения и гиперзвука
5. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВРМБ поля лазерной генерации и гиперзвука (в условиях синхронизма)
6. Обращение волнового фронта (ОВФ) при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в нелинейной кубической среде
7. Форма и основные свойства солитонного решения уравнения КдВ
8. Форма и основные свойства солитонного решения уравнения Синус-Гордон
9. Форма и основные свойства солитонного решения нелинейного уравнения Шрёдингера
10. Самоиндуцированная прозрачность (СИ) резонансной поглощающей среды (условия реализации СИ, основные параметры солитонного импульса и процесса его распространения)
11. Стационарный короткий импульс солитонного типа в активной резонансной среде (условия реализации, основные параметры солитонного импульса и процесса его распространения)
12. Метод обратной задачи рассеяния (ОЗР) – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных
13. Автопреобразование Бэклунда (АПБ) – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных

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

Оценка	Критерии оценивания
	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. Беспрозванных В. Г. Нелинейная оптика : учебное пособие / Беспрозванных В. Г., Первадчук В. П. - Пермь : ПНИПУ, 2011. - 200 с. - Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ПНИПУ - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-398-00574-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=747918&idb=0>.
2. Прикладная нелинейная оптика / Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. - Москва : Физматлит, 2004., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=635821&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Прикладная нелинейная оптика / Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. - Москва : Физматлит, 2004., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=635821&idb=0>.

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

-

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): Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Бакунов Михаил Иванович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.