

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением
ученого совета ННГУ
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Нелинейная оптика

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.03 радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина <i>Б1.В.ДВ.01.02, нелинейная оптика</i> относится к части ООП направления подготовки <i>03.04.03 радиофизика</i> , формируемой участниками образовательных отношений.

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

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-1. Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	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 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	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.	<i>Собеседование, задача, тест</i>
ПК-2. Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по	ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники,	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	<i>Собеседование, задача, тест</i>

отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты	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 поставленной задачи ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники	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.	
--	---	---	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	
(практические занятия / лабораторные работы)	
самостоятельная работа	29

КСР	2
Промежуточная аттестация – экзамен/зачет	45

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов (тем) дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе		
		Контактная работа во взаимодействии с		Самостоятельная работа обучающегося, часы
		лекции	всего	
Введение	1	1	1	
Часть 1. Нелинейная оптика				
Трехчастотные взаимодействия в квадратичной среде	6	3	3	3
Четырехчастотные взаимодействия в кубичной среде	4	2	2	2
Взаимодействие волн при вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) лазерного излучения	5	3	3	2
Взаимодействие волн лазерного излучения и звука при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)	5	3	3	2
Пучки в нелинейной оптике	6	3	3	3
Обращение волнового фронта (ОВФ) при отражении лазерного излучения от нелинейной среды.	4	2	2	2
Двумерные лазерные пучки в активной резонансной среде с линейной диссипацией энергии	2	1	1	1

Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках				
Солитонное решение уравнения Кортевега и де Вриза (КДВ)	4	2	2	2
Солитонное решение уравнения Синус-Гордон (СГ).	2	1	1	1
Солитонное решение нелинейного уравнения Шредингера (НУШ).	4	2	2	2
Самоиндуцированная прозрачность двухуровневой поглощающей среды.	4	2	2	2
Стационарные световые импульсы в усиливающей резонансной среде при наличии линейного поглощения.	4	2	2	2
Решение нелинейных уравнений методом обратной задачи рассеяния (ОЗР).	4	2	2	2
Решение нелинейных уравнений с помощью автопреобразования Бэклунда.	4	2	2	2
Обзор новых методов отыскания точных решений нелинейных уравнений.	2	1	1	1
Текущий контроль	2	2		
Промежуточная аттестация – экзамен	45			45

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

Еженедельно текст прочитанной лекции и соответствующие вопросы для контроля текущей успеваемости из списка 3.3 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 промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	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 отдельными несущественным 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 владения материалом. 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 недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

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

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

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции (согласно РПД)
1. <i>Нелинейность среды</i> . Сравнение свойств линейных и нелинейных сред	ПК-1
2. <i>Дисперсия и диссипация</i> среды. Влияние дисперсии и диссипации на распространение волн	ПК-1
3. Природа <i>дисперсии</i> и <i>диссипации</i> среды в электродинамике. Соотношения Крамерса-Кронига	ПК-1
4. Условия образования частотных гармоник в нелинейной	ПК-1

диспергирующей среде	
5. Квадратичная среда. Условия и типы трехчастотного взаимодействия	ПК-1
6. Законы сохранения в консервативной (непоглощающей) квадратичной среде	ПК-1
7. Влияние синхронизма и граничных условий на процесс образования второй гармоники в квадратичной среде по двухволновой схеме $1^0 + 1^0 = 2^0$.	ПК-1
8. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при низкочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса)	ПК-1
9. Параметрическое приближение трёхволнового взаимодействия при высокочастотной накачке в квадратичной среде (общая характеристика процесса)	ПК-1
10. Кубичная среда. Условия и разновидности четырехчастотного взаимодействия	ПК-1
11. Законы сохранения в консервативной кубичной среде	ПК-1
12. Влияние эффекта Керра и синхронизма на эффективность процесса образования третьей гармоники в кубичной среде	ПК-1
13. Природа комбинационного рассеяния и вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) лазерного излучения	ПК-1
14. Законы сохранения при ВКР лазерного излучения	ПК-1
15. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВКР поля лазерной генерации	ПК-2
16. Условия эффективной генерации антистоксова излучения при ВКР лазерного излучения	ПК-2
17. Рассеяние излучения на волнах плотности вещества и вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)	ПК-2
18. Законы сохранения при ВРМБ лазерного излучения и гиперзвука	ПК-2
19. Сравнительная характеристика процессов образования стоксова излучения вперёд и назад при ВРМБ поля лазерной генерации и гиперзвука (в условиях синхронизма)	ПК-2
20. Обращение волнового фронта (ОВФ) при четырехволновом взаимодействии (ЧВ) в нелинейной кубичной среде	ПК-2

21. Форма и основные свойства <i>солитонного</i> решения <i>уравнения КдВ</i>	ПК-2
22. Форма и основные свойства <i>солитонного</i> решения <i>уравнения Синус-Гордон</i>	ПК-2
23. Форма и основные свойства <i>солитонного</i> решения <i>нелинейного уравнения Шрёдингера</i>	ПК-2
24. <i>Самоиндуцированная прозрачность (СИ)</i> резонансной поглощающей среды (условия реализации <i>СИ</i> , основные параметры <i>солитонного</i> импульса и процесса его распространения)	ПК-2
25. Стационарный короткий импульс солитонного типа в активной резонансной среде (условия реализации, основные параметры <i>солитонного</i> импульса и процесса его распространения)	ПК-2
26. <i>Метод обратной задачи рассеяния (ОЗР)</i> – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных	ПК-2
27. <i>Автопреобразование Беклунда (АПБ)</i> – новый метод отыскания точных решений нелинейных уравнений в частных производных	ПК-2

5.2.2. Типовые 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.

идею автопреобразования Беклунда и объяснить содержание диаграммы Лэмба.

5.2.3. Типовые 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.

5.2.4. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции

Для оценки 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)?

$$2.1) \frac{\partial u}{\partial t} + au'_x + bu''_{xx} = 0; \quad 2.2) \frac{\partial u}{\partial t} + au'_x + bu u''_{xx} = 0;$$

$$2.3) \frac{\partial u}{\partial t} + uu'_x + bu''_{xx} = 0; \quad 2.4) \frac{\partial u}{\partial t} + a uu'_x + u'''_{xxx} = 0;$$

$$2.5) \frac{\partial u}{\partial t} - 6u^2 u'_x + u'''_{xxx} = 0.2.1) ;$$

Для оценки компетенции «ПК-2»

3. 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)?

$$3.1) \frac{\partial u}{\partial t} - \tilde{u}'''_{xxx} + i\beta \tilde{u}^2 u = 0; \quad 3.2) \frac{\partial u}{\partial t} - iu''_{xx} + i\beta u \tilde{u} = 0;$$

$$3.3) i \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} + \tilde{u}''_{xx} + \beta u^2 \tilde{u} = 0; \quad 3.4) i \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} + u \tilde{u}''_{xx} + \beta u^2 \tilde{u} = 0;$$

$$3.5) i \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} + \beta \tilde{u}'''_{xxx} + u^2 \tilde{u} = 0.$$

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Беспрозванных В. Г. Нелинейная оптика : учебное пособие / Беспрозванных В. Г., Первадчук В. П. - Пермь : ПНИПУ, 2011. - 200 с. <https://e.lanbook.com/book/160303>

2. Прикладная нелинейная оптика / Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. - Москва : Физматлит, 2004. <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104535.html>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудиторный фонд ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 918.

Автор к.ф.-м.н. доцент Миловский Н.Д.

Рецензент д.ф.-м.н. профессор Бакунов М.И.

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н. профессор Бакунов М.И.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.