

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

Математические модели волновых явлений в нелинейных средах

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы

Биоинформатика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.02 Математические модели волновых явлений 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 руководить научными исследованиями и опытно-конструкторскими разработками, в области информатики и информационных технологий (ФИИТ), и формировать их новые направления в области профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Знает проблематику и методы научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.2: Имеет навыки выполнения научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности</p> <p>ПК-1.3: Имеет навыки руководства исследованиями и опытно-конструкторскими разработками в области ФИИТ применительно к профессиональной деятельности, и формирования их новых направлений</p>	<p>ПК-1.1:</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-1.2:</p> <p>Знать: основные этапы подготовки НИР и составления проекта НИР;</p> <p>Уметь: анализировать проектную документацию на выполнение НИР;</p> <p>Владеть: навыками составления части проектной документации для проведения НИР.</p> <p>ПК-1.3:</p> <p>Знать: основные способы представления и продвижения</p>	<p>Тест</p> <p>Индивидуальное устное собеседование</p>	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задания</p>

		<p>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>		
--	--	---	--	--

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	1
самостоятельная работа	75
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
Введение	7	2		2	5
Часть 1. Нелинейная оптика. Трехчастотные взаимодействия в квадратичной среде	9	4		4	5
Часть 1. Нелинейная оптика. Четырехчастотные взаимодействия в кубической среде	7	2		2	5

Часть 1. Нелинейная оптика. Взаимодействие волн при вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) лазерного излучения	7	2		2	5
Часть 1. Нелинейная оптика. Взаимодействие волн лазерного излучения и звука при вынужденном рассеянии Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ)	7	2		2	5
Часть 1. Нелинейная оптика. Пучки в нелинейной оптике	8	3		3	5
Часть 1. Нелинейная оптика. Обращение волнового фронта (ОВФ) при отражении лазерного излучения от нелинейной среды	7	2		2	5
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Солитонное решение уравнения Кортевега и де Вриза (КДВ)	7	2		2	5
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Солитонное решение уравнения Синус-Гордон (СГ)	6	1		1	5
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Солитонное решение нелинейного уравнения Шредингера (НУШ)	7	2		2	5
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Самоиндуцированная прозрачность двухуровневой поглощающей среды	7	2		2	5
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Стационарные световые импульсы в усиливающей резонансной среде при наличии линейного поглощения	7	2		2	5
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Решение нелинейных уравнений методом обратной задачи рассеяния (ОЗР)	7	2		2	5
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Решение нелинейных уравнений с помощью автопреобразования Бэклунда (АПБ)	7	2		2	5
Часть 2. Солитоны – новое понятие в прикладных науках. Обзор новых методов отыскания точных решений нелинейных уравнений	7	2		2	5
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

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. Антистоксово излучение.

Тема 5. Взаимодействие волн лазерного излучения и звука при вынужденном рассеянии Манделъштама-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 потенциала. 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

Преобразования 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 - 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»

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Индивидуальное устное 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.

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

Оценка	Критерии оценивания
	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 отдельными 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

	обучающегося от ответа		некоторым и недочетами	и недочетами	недочетов	ошибок и недочетов	
--	---------------------------	--	------------------------------	-----------------	-----------	-----------------------	--

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

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.

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. Пащенко ; 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. Тарантович ; 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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.04.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

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 декабря 2023, протокол № 09/23.