

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт прикладной математики, физики и информатики
(Наименование института)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

К.С. Хорьков

2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

(наименование дисциплины)

направление подготовки / специальность

12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

(код и наименование направления подготовки (специальности))

направленность (профиль) подготовки

Лазерные и квантовые технологии

(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир
Год 2021

ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины «Нелинейная оптика» является формирование у студентов понимания физических основ нелинейных оптических явлений и эффектов, получение практических навыков расчета и моделирования для последующего использования этих знаний при разработке и оптимизации методов, средств и технологий, использующих лазерное излучение.

Задачи:

- теоретическая подготовка в области физики нелинейных явлений, позволяющая будущим инженерам ориентироваться в потоке научной и технической информации и обеспечивающая им возможность использования новых физических принципов нелинейной оптики в областях средств исследований и лазерных технологий;
- формирование нелинейного научного мышления, в частности правильного понимания границ применимости физических понятий, законов, теорий линейной физики и умения оценивать степень достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных или математических методов исследования;
- выработка приемов и навыков решений конкретных задач в области физики нелинейных колебаний и волн, помогающих студентам в дальнейшем решать инженерные задачи.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Нелинейная оптика» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 Дисциплины (модули) учебного плана.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием, конструированием и технологиями производства лазерной техники	<p>ОПК-1.1. Знает основные законы естественных наук, методы математического анализа и моделирования, основные законы и методы инженерных дисциплин, основные принципы разработки и производства элементов и устройств лазерной техники, основную номенклатуру лазерной техники, особенности ее конструкции, технологии производства, а также условия и методы их эксплуатации.</p> <p>ОПК-1.2. Умеет применять естественнонаучные и инженерные знания для проектирования, конструирования и производства лазерной техники.</p> <p>ОПК-1.3. Владеет методами расчетов и проектирования, а также компьютерными системами, используемыми при моделировании и проектировании лазерных установок, комплексов, систем и лазерных технологий.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные законы нелинейной физики; • методы математического анализа и методы моделирования нелинейных систем; • основные принципы работы нелинейных элементов и особенности конструкции устройств лазерной техники; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять знания в области нелинейных колебаний и волн для проектирования, конструирования и производства лазерной техники. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами расчетов и проектирования нелинейных элементов лазерных систем; • компьютерными системами, используемыми при моделировании и 	Тестовые вопросы Практико-ориентированное задание по нелинейной оптике

		проектировании лазерных установок, комплексов, систем и лазерных технологий.	
ПК1. Способен анализировать задачи по проектированию типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптоэлектронных приборов и систем	<p>ПК-1.1. Знает принципы генерации излучения лазерами, элементную базу лазерной техники, основные типы и характеристики оптических систем лазерных оптоэлектронных приборов и оборудования, принципы конструирования лазерных оптоэлектронных приборов, их узлов и элементов, опасные и вредные эксплуатационные факторы, их предельно-допустимые уровни воздействия на человека, технику и окружающую среду при эксплуатации лазерных систем и технологий.</p> <p>ПК-1.2. Умеет определять параметры и характеристики элементов лазерных систем и технологий для заданных условий и режимов эксплуатации, анализировать взаимодействие лазерного излучения с материалами и средами, применять информационные ресурсы и технологии, представлять информацию в систематизированном виде, работать с научно-технической литературой и информацией.</p> <p>ПК-1.3. Владеет навыками работы со средствами компьютерного проектирования, используемыми при конструировании узлов и блоков лазерных комплексов, навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптоэлектронных приборов и систем.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • принципы генерации излучения лазерами; • элементную базу лазерной техники, основные типы и характеристики оптических систем лазерных оптоэлектронных приборов и оборудования; • принципы расчета лазерных оптоэлектронных приборов, их узлов и элементов <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Умеет определять параметры и характеристики нелинейных элементов лазерных систем; • анализировать нелинейное взаимодействие лазерного излучения с материалами и средами; • применять информационные ресурсы и технологии, представлять информацию в систематизированном виде, работать с научно-технической литературой и информацией. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками работы со средствами компьютерного проектирования нелинейных блоков лазерных комплексов; • навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптоэлектронных приборов и систем. 	Тестовые вопросы Отчет по практико-ориентированному заданию
ПК-3. Способен рассчитывать, проектировать и конструировать типовые системы, приборы, узлы и детали лазерной техники, лазерных оптоэлектронных приборов и систем	<p>ПК-3.1. Знает принципы конструирования лазерных оптоэлектронных приборов, их узлов и элементов, элементную базу, используемую в изделиях лазерной техники.</p> <p>ПК-3.2. Умеет выбирать метод(ы) расчёта при разработке лазерных приборов и систем, рассчитывать параметры и характеристики оптического узла лазерных приборов и систем, конструировать типовые детали и узлы лазерной техники, подбирать по заданным параметрам и характеристикам элементную базу лазерных приборов и систем.</p> <p>ПК-3.3. Владеет прикладными программами расчёта лазерных</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • принципы конструирования лазерных оптоэлектронных приборов, основанных на нелинейных явлениях в изделиях лазерной техники. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выбирать метод(ы) расчёта нелинейных элементов и узлов при разработке лазерных приборов и систем; • рассчитывать параметры и характеристики оптического узла лазерных приборов и систем; • подбирать по заданным параметрам и характеристикам элементную базу лазерных приборов и систем. 	Тестовые вопросы Практико-ориентированное задание по нелинейной оптике

	оптико-электронных приборов, компьютерными технологиями расчёта и конструирования лазерных оптико-электронных приборов;	Владеет: <ul style="list-style-type: none"> • прикладными программами расчёта лазерных оптико-электронных приборов в среде Matlab 	
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы в области лазерных и квантовых технологий	<p>ПК-4.1. Знает методы и средства планирования и организации исследований и разработок в области лазерных и квантовых технологий, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации.</p> <p>ПК-4.2. Умеет находить аналитические решения задач квантовой теории, применять нормативную документацию, связанную с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, применять методы проведения экспериментов.</p> <p>ПК-4.3. Владеет методами организации и проведения измерений и исследований в области лазерных и квантовых технологий, включая планирование, разработку, организацию и проведение исследований, навыками применения математического аппарата для решения типовых задач квантовой механики, составления отчётов (разделов отчётов) по теме или по результатам проведённых экспериментов.</p>	<p>Знает: методы проведения экспериментов и наблюдений нелинейных явлений с помощью лазерной техники</p> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • находить аналитические решения задач квантовой теории нелинейных сред; • применять нормативную документацию, связанную с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; • оформлять результаты и применять методы проведения экспериментов. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами проведения измерений и исследований в области нелинейной оптики с помощью лазерных и квантовых технологий; • навыками применения математического аппарата для решения типовых задач нелинейной оптики; • навыками составления отчётов по результатам проведённых численных экспериментов. 	Тестовые вопросы Практико-ориентированное задание по нелинейной оптике

4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа

Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Введение в нелинейные оптические явления	5	1-2	4	2	-	-	8	-
2	Теория нелинейно-оптических явлений.	5	3-5	6	4	-	-	14	Рейтинг-контроль №1
3	Квадратичные среды. Трёхволновое взаимодействие.	5	6-11	12	6	-	-	18	Рейтинг-контроль №2
4	Параметрическое преобразование света.	5	12-18	14	6	-	-	23	Рейтинг-контроль №3

Всего за <u>5</u> семестр:	144	18	36	18	-	-	63	экзамен (27)
Наличие в дисциплине КП/КР	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого по дисциплине	144	18	36	18	-	-	63	экзамен (27)

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Введение в нелинейные оптические явления.

Тема 1 Введение в нелинейную оптику.

Содержание темы. Предмет нелинейной оптики, история ее развития.

Тема 2 Классификация нелинейно-оптических явлений.

Содержание темы. Классификация нелинейно-оптических эффектов. Некогерентные нелинейно-оптические эффекты. Генерация гармоник. Смещение частот. Вынужденное комбинационное рассеяние света.

Раздел 2. Теория нелинейно-оптических явлений.

Тема 3. Нелинейный отклик среды.

Содержание темы. Нарушение принципа суперпозиции для сильных световых волн в среде. Разложение поляризации по степеням поля. Нелинейная поляризация. Генерация второй гармоники на основе интегрального подхода. Длина когерентности.

Тема 4. Феноменологическое описание восприимчивостей

Содержание темы. Феноменологическое описание оптических восприимчивостей кристаллических сред. Вектор поляризации; материальное уравнение в кристаллических анизотропных средах. Тензоры нелинейно-оптических восприимчивостей. Общие свойства тензора квадратичной восприимчивости. Уравнения Максвелла – Лоренца в среде. Нелинейный отклик среды. Нелинейная поляризация среды.

Раздел 3. Квадратичные среды. Трёхволновое взаимодействие.

Тема 5. Метод медленно меняющихся амплитуд

Содержание темы. Метод медленно меняющихся амплитуд. Стационарные укороченные уравнения. Трехфотонные взаимодействия. Система стационарных укороченных уравнений. Соотношения Мэнли – Роу.

Тема 6. Генерация второй гармоники (ГВГ).

Содержание темы. Генерация второй гармоники в приближении заданного поля. Фазовый синхронизм и методы его реализации. Виды фазового синхронизма.

Тема 7. Точное решение для генерации второй гармоники

Содержание темы. Точное решение для генерации второй гармоники уравнение для медленно меняющихся амплитуд и фаз. Решение при точном синхронизме. Случай отсутствия второй гармоники на входе нелинейной среды. Захват и срыв захвата обобщенной фазы. ГВГ в отсутствие синхронизма.

Тема 8. Параметрическое усиление

Содержание темы. Параметрическое взаимодействие волн в средах с отрицательным показателем преломления. Укороченное волновое уравнение с учетом временной и пространственной дисперсии. Параметрическое взаимодействие волн с учетом пространственной дисперсии. Параметрическое трехволновое взаимодействие в средах с отрицательной рефракцией.

Тема 9. Нестационарные укороченные уравнения

Содержание темы. Метод медленно меняющихся амплитуд в теории распространения волн. Нестационарные укороченные уравнения. Второе приближение теории дисперсии. Уравнения для пучков и импульсов. Дифракционные эффекты и дисперсионное расплывание импульсов. Общее уравнение для модулированных в пространстве и во времени амплитуд.

Тема 10. Нестационарная ГВГ

Содержание темы. Трехфотонные процессы. Система нелинейных нестационарных уравнений. Нестационарная генерация второй гармоники. Эффект группового

запаздывания импульсов; групповой синхронизм. Эффект дисперсионного расплывания импульсов.

Тема 11. Пространственно-временная аналогия

Содержание темы. Диафрагменные апертурные эффекты (оо-е-синхронизм) Пространственно-временная аналогия. Параметрический генератор бегущей волны. Общие требования, предъявляемые к нелинейным кристаллам.

Раздел 4 Параметрическое преобразование света.

Тема 12. Взаимодействие волн в средах с отрицательной дисперсией

Содержание темы. Параметрическое усиление. Коэффициенты усиления усилителя. Параметрический генератор света. Однорезонаторный и двухрезонаторный параметрический генератор света. Фазовый синхронизм. Перестроечные характеристики и способы перестройки частоты в параметрических генераторах света.

Тема 13. Особенности газовых нелинейно-оптических сред.

Содержание темы. Особенности газовых атомно-молекулярных нелинейно-оптических сред. Четырехфотонные взаимодействия. Укороченные уравнения. Резонансные четырехфотонные процессы. Оценка расчет и интерпретация нелинейных восприимчивостей.

Тема 15. Параметрическое преобразование при рассеянии. Рамановское рассеяние света.

Содержание темы. Комбинационное (рамановское) рассеяние света. Физический механизм рассеяния. Основные уравнения и параметры. Ограничивающие процессы: насыщение резонансного перехода. Параметрическое просветление. Высокочастотный эффект Керра. Условия фазового согласования и методы его реализации в газовых средах.

Тема 16. Антистоксовы компоненты КР

Содержание темы. Особенности антистоксова излучения. Методы наблюдения. Условия синхронизма.

Тема 17. Вынужденное комбинационное рассеяние света.

Содержание темы. Порог вынужденного комбинационного рассеяния. Антистоксовы компоненты вынужденного комбинационного рассеяния. Антистоксово вынужденное комбинационное рассеяние на переходах с инверсией населенности.

Тема 18. Обращение волнового фронта

Содержание темы. Вынужденное рассеяние Мандельштама – Бриллюэна. Обращение волнового фронта. Комбинационные лазеры.

Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 1. Введение в нелинейные оптические явления

Тема 1 Уравнения Максвелла в нелинейной среде. Вектор нелинейной поляризуемости.

Содержание практических занятий. Оценка поляризуемости и восприимчивости вещества. Расчёт плотность потока электромагнитной энергии плоской волны.

Раздел 2 Теория нелинейно-оптических явлений.

Тема 2. Возбуждение волн нелинейной поляризуемости вещества.

Содержание практических занятий. Составление системы уравнений в рамках приближения медленно меняющихся амплитуд

Тема 3. Феноменологическое описание восприимчивостей.

Составление тензора нелинейной восприимчивости для одноосных кристаллов. Вычисление угла синхронизма.

Раздел 3 Квадратичные среды. Трёхволновое взаимодействие.

Тема 4. Укороченные уравнения в квадратичной среде в приближении плоских волн

Содержание практических занятий. Вывод укороченных уравнений и решение задач генерации для квадратичных сред с учётом поглощения.

Тема 5. Нахождение условия фазового синхронизма при трехчастотном взаимодействии в одноосных кристаллах.

Тема 6. Генерация излучения в квадратичных средах

Содержание практических занятий. Решение задач генерации второй гармоники в приближении плоских волн

Раздел 4. Параметрическое преобразование света.

Тема 7. Генерация излучения в квадратичных средах.

Содержание практических занятий. Решение задач на исследование генерации второй субгармоники в приближении плоских волн.

Тема 8. Генерация излучения в квадратичных средах

Содержание практических занятий. Решение задач на исследование генерации суммарной и разностной частот в приближении плоских волн.

Тема 9. Генерация излучения в средах с нелинейностями высших порядков

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости

Примерный перечень вопросов и задач к рейтинг-контролю №1

Вариант 1.

1. Объяснить различный характер взаимодействия световых полей малой и большой интенсивности с веществом.
2. Вычислить отношение нелинейных восприимчивостей $\chi^{(2m+1)}/\chi^{(2m-1)}$ для соседних нечетных порядков ($m > 2$) как функцию параметра нелинейности, определяемого формулой $\vec{E} = E/E_{am}$.
3. Определить напряженность электрического поля E в лазерном пучке диаметром 1 мм и мощностью 1 кВт.

Вариант 2.

1. Каковы физические причины нелинейных оптических явлений?
2. Преобразовать формулу для критической интенсивности лазерного пучка так, чтобы с помощью нее можно было определять критическую амплитуду светового вектора в

лазерном пучке.
$$I_{cr} = \frac{\lambda^2 k_T}{16\pi\mu_0 a^4} \cdot \left| \frac{dn}{dT} \right|^{-1}$$

3. Оценить диаметр пятна в фокусе объектива для лазерного излучения мощностью 10 кВт, если требуется обеспечить напряженность электрического поля $E = 3 \cdot 10^4$ В/см.

Вариант 3.

1. Каков физический смысл величины $\chi(m)$ – нелинейной восприимчивости m -го порядка?
2. Вычислить параметр нелинейности $\vec{E} = E/E_{am}$ для излучения импульсного лазера интенсивностью $I = 10^{14}$ Вт/м², распространяющегося в одноатомном однородном кристалле, не являющемся магнитным материалом ($\mu = 1$), с характерной напряженностью внутриатомного поля $E_{ат} = 10^{10}$ В/м и показателем преломления $n = 1,5$.
3. Определить плотность мощности лазерного излучения N , если напряженность электрического поля этого излучения $E = 10^5$ В/см.

Вариант 4.

1. Каковы физические причины одновременного возникновения нескольких волн с кратными частотами в нелинейной среде?
2. Записать формулу $P = \varepsilon_0 \chi^{(1)} E$ для анизотропного линейного оптического кристалла.

3. Определить напряженность электрического поля E в лазерном пучке диаметром 1 мм и мощностью 10 кВт.

Вариант 5.

1. Каковы физические причины одновременного возникновения нескольких волн с кратными частотами в нелинейной среде?

2. Показать, что если на среду воздействуют две плоские монохроматические волны с различными частотами ω_1 и ω_2 , то квадратичная поляризованность среды будет содержать гармонические составляющие на частотах $2\omega_1$, $2\omega_2$, $\omega_1 - \omega_2$ и $\omega_1 + \omega_2$.

3. Оценить диаметр пятна в фокусе объектива для лазерного излучения мощностью 10 кВт, если требуется обеспечить напряженность электрического поля $E = 1 \cdot 10^4$ В/см.

Вариант 6.

1. Каковы физические причины одновременного возникновения нескольких волн с кратными частотами в нелинейной среде?

2. Записать волновое уравнение

$$\Delta E_i = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\sum_{k=1}^3 (1 + \chi_{ik}^{(1)}) E_k \right] + \mu_0 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left[\sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \chi_{ikj}^{(2)} E_k E_j + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{m=1}^3 \chi_{ikjm}^{(3)} E_k E_j E_m + \dots \right];$$

а) для анизотропного линейного; б) изотропного линейного; в) кубично-нелинейного оптических кристаллов.

3. Определить плотность мощности лазерного излучения N , если напряженность электрического поля этого излучения $E = 10^6$ В/см.

Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №2

Вариант 1.

1. Пояснить границы применимости линейной модели Друде – Лоренца взаимодействия излучения с веществом.

2. Объяснить, почему для прозрачной (непоглощающей) оптической среды $\text{Im} \chi^{(1)} = 0$.

3. Каков физический смысл просветления поглощающей среды?

4. Считая известной естественную ширину возбужденного атомного уровня γ_0 , оценить неопределенность $\delta\lambda$ длины волны фотона, излучаемого при переходе электрона с данного энергетического уровня на уровень с меньшей энергией.

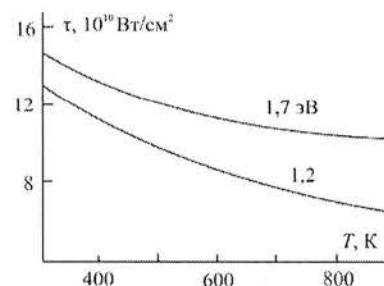
Вариант 2.

1. Объяснить физический смысл членов в уравнении движения вынужденных затухающих колебаний одного осциллятора.

2. Какова связь между нелинейными поляризованностями смежных порядков $P^{(n)}$, $P^{(n+1)}$ и параметром нелинейности $\tilde{E} = E/E_{\text{ат}}$.

3. Каков физический смысл эффективного сечения многофотонного процесса $\sigma(k)$ и от каких параметров он зависит?

4. Дать физическое объяснение характера зависимостей, представленных на рис.



Вариант 3.

1. Получить зависимость линейной восприимчивости $\chi^{(1)}(\omega)$ от частоты для среды, в которой колебания оптических электронов являются гармоническими, и имеется только одна резонансная частота. Изобразить эту зависимость графически.

2. Дать характеристику модели ангармонического осциллятора с кубичной нелинейностью в рамках модели ангармонического осциллятора? ($K_2 = 0$) -уравнение Дуффинга. Какой процесс оно описывает?

3. Пояснить, почему для двухфотонного фотоэффекта величина силы тока в фотоэлементе пропорциональна квадрату мощности лазерного излучения, падающего на катод фотоэлемента.

4. В чем состоит эффект Штарка?

Вариант 4.

1. Какую новую информацию позволяют получить модели ангармонических осцилляторов по сравнению с линейной моделью?

2. Обосновать необходимость квантовой модели взаимодействия излучения с веществом.

3. Почему в оптическом кристалле имеет место резкий рост вероятности многофотонных процессов при увеличении интенсивности падающего лазерного излучения?

4. Имеются два импульсных лазера, излучающих на одной частоте, но с различными длительностями импульсов: соответственно $\tau_1 = 1$ нс и $\tau_2 = 10^{-3}$ нс. Какой из них и почему предпочтительнее для использования в оптоволоконных линиях с точки зрения обеспечения стойкости к оптическому пробую?

Вариант 5.

1. Показать, что в нелинейных средах нарушается принцип неизменности частоты света при переходе из одной среды в другую.

2. Доказать, что в рамках квантовой модели взаимодействие интенсивного светового поля с веществом представляет собой нелинейный процесс.

3. Чем отличается процесс двухфотонного перехода от процесса, представляющего собой два последовательных однофотонных перехода?

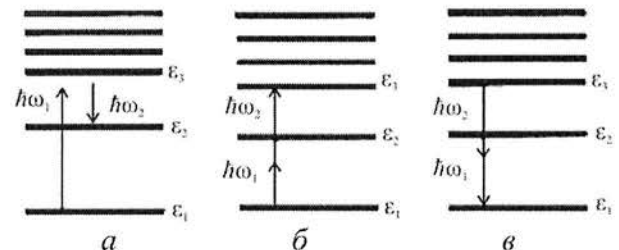
4. Сравнить время жизни атома в виртуальном состоянии с временем жизни в реальном возбужденном состоянии при двухфотонном переходе.

Вариант 6.

1. На основе формулы $\chi(\omega) = \chi^{(1)}(\omega) + \chi^{(3)}(\omega)E_m^2$ получить зависимость показателя преломления оптической среды от интенсивности падающего излучения.

2. В чем состоят физические особенности задачи о резонансном взаимодействии двухуровневой квантовой системы с монохроматическим излучением, обычно выражаемые понятием «атом, одетый полем»?

3. Записать закон сохранения энергии для двухфотонных процессов, показанных на рис.



Примерный перечень вопросов к рейтинг-контролю №3

Вариант 1.

1. Показать, что выражение $n(\omega, E) = n(\omega) + n_{нл}E^2$ для показателя преломления нелинейной среды получается как результат вклада кубичной восприимчивости $\chi^{(3)}$.

2. Пояснить работу ВКР-лазеров и ВКР-усилителей.

3. Показать, что дисперсия групповых скоростей имеет место и для линейных, и для нелинейных волн.

4. Каковы основные свойства солитонов?

Вариант 2.

1. Объяснить, почему в выражении для $n_{нл} E^2 = n_2 I + n_4 I^2 + \dots$ для нелинейной части показателя преломления присутствуют только четные степени амплитуды светового вектора.

2. В чем отличие спонтанного от вынужденного рассеяния Манделъштама – Бриллюэна?

3. Дать характеристику уравнения Кортевега – де Фриза.

4. Объяснить, почему групповой солитон не может содержать слишком большое (более 20) количество волн.

Вариант 3.

1. Как влияет знак рефракционного индекса на характер эволюции светового пучка в оптической среде?
2. Почему явление вынужденного рассеяния Мандельштама – Бриллюэна аналогично явлению дифракции на пространственной решетке?
3. Сравнить структуру уравнения Кортевега – де Фриза и нелинейного уравнения Шредингера и физический смысл членов в этих уравнениях.
4. Сравнить свойства параметрического усиления со свойствами ВКР-усиления и ВРМБ-усиления.

Вариант 4.

1. Пояснить, в чем состоит нелинейный характер явления самофокусировки светового пучка.
2. Доказать, что при вынужденном рассеянии Мандельштама – Бриллюэна волна накачки и волна рассеянного излучения распространяются в противоположных направлениях.
3. Что характеризуют дисперсионные коэффициенты β_1 и β_2 в обобщенном уравнении являющимся обобщением уравнения КдФ и нелинейного уравнения Шредингера?
4. Почему четырехволновое смешение является одним из самых нежелательных нелинейных оптических эффектов в оптоволоконных системах передачи информации?

Вариант 5.

1. Привести математическую формулу, доказывающую, что при фазовой самомодуляции форма оптических импульсов не изменяется.
2. В чем состоит полезное и вредное влияние вынужденного рассеяния Мандельштама – Бриллюэна для оптоволоконных линий связи?
3. Проверить с точки зрения размерности физических величин, что правые части формул для дисперсионной длины и нелинейной длины дают характерные длины (дисперсионная длина и нелинейная длина).
4. Для чего в волоконных линиях передачи информации применяется сжатие оптических импульсов? До каких величин сжимаются импульсы?

Вариант 6.

1. Какова связь между явлениями самофокусировки и фазовой самомодуляции?
2. Построить качественно графическую зависимость для спектра ВРМБ усиления.
3. В чем состоит математическое и физическое содержание понятия «модуляционная неустойчивость»?
4. Доказать, что образование оптического солитона – это нелинейный физический процесс.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Классификация нелинейно-оптических эффектов
2. Когерентные и не когерентные нелинейно-оптические эффекты
3. Нелинейное поглощение света
4. Генерация суммарных и разностных частот. Параметрическая генерация
5. Уравнения Максвелла – Лоренца в среде. Нелинейный отклик среды.
6. Разложение поляризации по степеням поля. Нелинейная поляризация.
7. Генерация второй гармоники (интегральный подход)
8. Феноменологическое описание оптических восприимчивостей кристаллических сред.
9. Тензоры оптических восприимчивостей Перестановочные соотношения. Свойства симметрии оптических сред.
10. Метод медленно меняющихся амплитуд для среды с квадратичной нелинейностью (трехфотонные взаимодействия)
11. Система стационарных укороченных уравнений. Приближение заданного поля. Соотношения Мэнли – Роу.
12. Генерация второй гармоники (ГВГ) в приближении заданного поля

13. Фазовый синхронизм и методы его реализации. Виды фазового синхронизма.
14. Уравнения для медленно меняющихся действительных амплитуд и фаз.
15. Точное решение для генерации второй гармоники. Захват фазы.
16. Параметрический генератор света (ПГС). Параметрическое усиление. Коэффициенты усиления параметрического усилителя.
17. Параметрический генератор. Перестройка частоты. Однорезонаторный и двухрезонаторный ПГС. Параметрический генератор встречной волны.
18. Метод медленно меняющихся амплитуд в теории распространения волновых пакетов. Нестационарные укороченные уравнения.
19. Второе приближение теории дисперсии. Уравнения для пучков и импульсов.
20. Дифракционные эффекты. Дисперсионное расплывание импульсов. Общее уравнение для модулированных в пространстве и во времени амплитуд.
21. Трехфотонные процессы. Система нелинейных нестационарных уравнений.
22. Нестационарная ГВГ. Эффект группового запаздывания импульсов. Групповой синхронизм. Эффект дисперсионного расплывания импульсов.
23. Особенности газовых атомных и молекулярных нелинейно-оптических сред. Четырехфотонные взаимодействия.
24. Укороченные уравнения. Резонансные четырех фотонные процессы. Оценка, расчет и интерпретация нелинейных восприимчивостей.
25. Взаимодействие волн в средах с отрицательной дисперсией. Насыщение резонансного перехода. Динамический эффект Штарка.
26. Параметрическое просветление. Высокочастотный эффект Керра.
27. Движение населенностей и нарушение синхронизма.
28. Комбинационное (Рамановское) рассеяние света. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). Основные уравнения и параметры. Порог ВКР.
29. Антистоксовы компоненты ВКР. Антистоксово ВКР на переходах с инверсией населенности.
30. Обращение волнового фронта. Комбинационные лазеры.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Нелинейная оптика» включает в себя следующие виды деятельности:

- 1) проработку учебного материала по конспектам, учебной и научной литературе;
- 2) подготовку к практическим занятиям;
- 3) подготовку по всем видам контрольных мероприятий, в том числе к текущему контролю знаний и промежуточной аттестации.

Темы для самостоятельной работы студентов

Вопросы для контроля самостоятельной работы

1. Каковы физические величины, определяющие нелинейно-оптические эффекты?
3. Каковы физические величины, обуславливающие эффекты Керра и просветление?
4. Какова по порядку величины напряженность внутриатомного поля?
5. Каковы области применения параметрической генерации света?
6. Какова физическая величина, определяющая пространственное накопление нелинейного эффекта?
7. В каких средах может выполняться условие фазового синхронизма?
8. Что понимают под нелинейным откликом среды? Дайте классификацию нелинейно-оптических эффектов.
9. Каково максимальное число независимых компонент квадратичного тензора оптической восприимчивости?
10. По какой схеме осуществляются трехфотонные процессы?

11. Что называют сигнальной волной, а что называют холостой волной? Каким образом усилитель может быть превращен в генератор? Каково условие самовозбуждения при параметрической генерации света?

12. Что называют дисперсионным расплыванием? В чем суть квазиоптического приближения?

13. Каков режим генерации второй гармоники при использовании сверхкоротких лазерных импульсов?

14. При выполнении какого условия возможны четырехфотонные процессы? При каких условиях возможно нелинейно-оптическое смешение частот и какой вид имеет коэффициент нелинейной связи при четырехфотонных процессах?

15 Брэгговские решетки. Применение в лазерах. Методы расчета.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
1. Старовойтов, А. А. Лабораторный практикум по основам нелинейной оптики : учебное пособие / А. А. Старовойтов. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2019. — 74 с.	2019	URL: https://e.lanbook.com/book/136399
2. Червяков Г.Г. Нелинейные процессы СВЧ-электроники и когерентной оптики [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Червяков Г.Г.— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017.— 298 с.	2017	http://www.iprbookshop.ru/87447.html
3. Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах [Электронный ресурс]/ С.А. Гриднев [и др.].- Электрон. текстовые данные.- Москва: Лаборатория знаний, 2020.— 353 с.	2020	http://www.iprbookshop.ru/4605.html .
Дополнительная литература		
1. Акципетров, О. А. Нелинейная оптика кремния и кремниевых наноструктур : монография / О. А. Акципетров, И. М. Баранова, К. Н. Евтюхов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 544 с. — ISBN 978-5-9221-1402-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система	2012	URL: https://e.lanbook.com/book/5255
2. Шандаров С.М. Введение в нелинейную оптику [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов направлений подготовки «Фотоника и оптоинформатика», «Электроника и наноэлектроника», «Электроника и микроэлектроника»/ Шандаров С.М.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 41 с.	2012	http://www.iprbookshop.ru/72073.html
3. Либенсон М.Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть I. Поглощение лазерного излучения в твердых телах : учебное пособие / Либенсон М.Н., Яковлев Е.Б., Шандыбина Г.Д.. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. — 130 с.	2015	https://www.iprbookshop.ru/65819.html

6.2. Периодические издания

1. Квантовая электроника: <http://www.quantum-electron.ru>
2. Успехи физических наук: <http://ufn.ru>
3. Журнал технической физики и Письма в ЖТФ: <http://journals.ioffe.ru/pjtf>

6.3. Интернет-ресурсы

1. <http://www.laser.ru>

2. <http://www.cislaser.com>
3. <https://www.comsol.ru/events/>

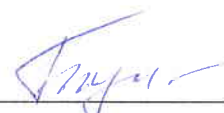
7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ


Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического/лабораторного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.


Практические и лабораторные занятия проводятся в аудитории (компьютерном классе) 511б-3 (или аналогичном компьютерном классе в зависимости от сетки расписания).

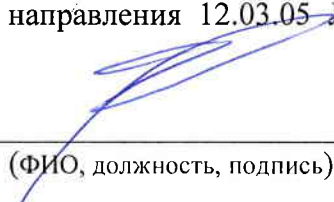
Перечень используемого лицензионного программного обеспечения:

- 1) GPSS World Student Version (свободно распространяемое);
- 2) MS Word;
- 3) MS PowerPoint;
- 4) Mathlab.


Рабочую программу составил проф. каф. ФИПИМ Бутковский О.Я. 
(должность, ФИО, подпись)

Рецензент
Генеральный директор ООО «ВладИнТех» А.В. Осипов 
(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПИМ
Протокол №1 от 30.08.2021 года
Заведующий кафедрой С.М. Аракелян 
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании учебно-методической комиссии направления 12.03.05 Лазерная техника и
лазерные технологии
Протокол №1 от 30.08.2021 года
Председатель комиссии С.М. Аракелян 
(ФИО, должность, подпись)

ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года
Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2021 года
Заведующий кафедрой С.С. Абрахим 

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года
Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года
Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года
Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года
Заведующий кафедрой _____