

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**

**УТВЕРЖДАЮ**

## Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

 Овчинников О.В.  
подпись

21.06.2023г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.04.01 Принципы создания устройств нелинейной оптики

1. Код и наименование направления подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
  2. Профиль подготовки: Перспективные материалы и устройства фотоники
  3. Квалификация выпускника: магистр
  4. Форма обучения: очная
  5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
  6. Составители программы: Смирнов Михаил Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент
  7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 20.06.2023
  8. Учебный год: 2024-2025 Семестр(ы): 3

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины**

**Целью освоения учебной дисциплины является:** формирование профессиональной компетенции в области физических основ нелинейных оптических процессов, возникающих при взаимодействии мощных когерентных потоков электромагнитного излучения с веществом, в том числе, находящемся вnanostructuredированном состоянии и приемов их использования для создания устройств нелинейной оптики.

### **Задачи учебной дисциплины:**

- изучить физические основы нелинейных оптических процессов, возникающих при взаимодействии мощных когерентных потоков электромагнитного излучения с низкоразмерными системами, технические приложения изучаемых нелинейных явлений, в частности, для исследования nanostructured и нанокомпозитов;
- изучить современные научно-технические и технологические разработки в области нелинейной волоконной оптики;
- освоить методы измерения и контроля в нелинейной волоконной оптике;

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** учебная дисциплина Б1.В.ДВ.04.01 «Принципы создания устройств нелинейной оптики» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока Б1, дисциплины по выбору

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код (ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК – 3	Способен выбирать научно-исследовательское и технологическое оборудование с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств нанофotonики	ПК – 3.1.	Проводит научные исследования в области nanoфotonики, используя специализированное исследовательское оборудование, приборы и установки	<b>Знать:</b> современные научно-технические и технологические разработки в области нелинейной волоконной оптики; методы измерения и контроля в нелинейной волоконной оптике; <b>Уметь:</b> работать с приборами и оборудованием, используемым в волоконной оптике, нанотехнологиях фотоники и оптоинформатики <b>Владеть:</b> навыками использования современных математических, вычислительных и экспериментальных методов, пакетов инженерных программ, поисковых систем, методами научно-исследовательской работы в области нелинейной волоконной оптики.
		ПК – 3.2.	Решая различные профессиональные задачи, применяет знания физических принципов работы приборов квантовой электроники и фотоники, базовых технологических процессов создания наноматериалов и устройств нанофotonики	<b>Знать:</b> физические основы нелинейных оптических процессов, возникающих при взаимодействии мощных когерентных потоков электромагнитного излучения с низкоразмерными системами, технические приложения изучаемых нелинейных явлений, в частности, для исследования nanostructured и нанокомпозитов. <b>Уметь:</b> применять знания, полученные в ходе изучения данного спецкурса, при решении научно-исследовательских задач в области нанотехнологий, нелинейной спектроскопии, волновой нелинейной оптики, нелинейных оптических явлений, при использовании нелинейно-оптических устройств. <b>Владеть:</b> знаниями о современных проблемах, стратегиях и инновациях нелинейной оптики nanostructuredированных материалов, о перспективах развития этого научно-технического направления.

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2 / 72

Форма промежуточной аттестации: зачет.

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		№ 3	-
Аудиторные занятия	30	30	
в том числе:	лекции	30	30
	практические	-	-
	лабораторные	-	-
Самостоятельная работа	42	42	
Форма промежуточной аттестации	-	Зачет	
Итого:	72	72	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.	Введение.	Линейная и нелинейная оптика. Предмет и задачи нелинейной оптики, история и основные этапы ее развития.
2.	Основы нелинейной оптики	Волновое уравнение. Электрическая индукция, поляризуемость. Плоская волна. Сферическая волна. Гауссов пучок. Комплексный показатель преломления, комплексная проводимость. Тензор диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса. Вектор Умова-Пойнтинга и направление распространение фазы.
3.	Нелинейно-оптическое преобразование частоты.	Гармонический и ангармонический осциллятор. Линейная и нелинейная поляризуемости. Эффект Покельса – электрооптический модулятор. Эффект Керра, Фарадея. Генерация гармоник, условие фазового синхронизма. Устройство генератора второй гармоники для непрерывного излучения - внутрирезонаторная генерация гармоники. Устройство генератора второй, третьей и четвёртой гармоник для импульсного излучения. Устройство параметрического генератора.
4.	Некоторые устройства нелинейной оптики для управления амплитудой, фазой и расходностью лазерного излучения	Обращение волнового фронта. Обращение волнового фронта при вырожденном четырёхволновом взаимодействии в кубически-нелинейной среде. Обращение волнового фронта при вынужденном рассеянии. Практическое применение обращения волнового фронта. Понятие о силовой оптике. Приборы на основе силовой оптики. Лучевая прочность. Оптический пробой среды. Ударные и тепловые нелинейные эффекты. Вынужденное комбинационное рассеяние света. Многофотонные переходы. Нелинейный фотоэффект. Самофокусировка света. Корректоры волнового фронта.
5.	Нелинейные эффекты в волоконных световодах	Нелинейное преломление. Фазовая самомодуляция. Фазовая кросс-модуляция. Эффекты, связанные с нелинейным двулучепреломлением. Эффект Керра. Самофокусировка. Сжатие оптических импульсов. Дисперсия групповых скоростей. Устройства управления параметрами оптического излучения. Оптические солитоны. Модуляционная неустойчивость. Оптические солитоны. Применение оптических солитонов. Нелинейное рассеяние света. Вынужденное комбинационное рассеяние. Применение ВКР. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Применение ВРМБ.

### **13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий**

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практ.	Лаб. раб.	Сам.раб.	Всего
1.	Введение.	6			8	14
2.	Основы нелинейной оптики	6			8	14
3.	Нелинейно-оптическое преобразование частоты.	6			8	14
4.	Некоторые устройства нелинейной оптики для управления амплитудой, фазой и расходностью лазерного излучения	6			8	14
5.	Нелинейные эффекты в волоконных световодах	6			10	16
	Итого:	30			42	72

### **14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Основными этапами освоения дисциплины являются:

- 1) Лекции. В ходе лекционных занятий студенту необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.
- 2) Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.

3) Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения практических работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации. Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

### **15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины**

а) основная литература:

№ п/п	Источник

1.	Дроздов, А. А. Основы нелинейной оптики : учебное пособие / А. А. Дроздов, С. А. Козлов. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2021. — 69 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/283604">https://e.lanbook.com/book/283604</a>
2.	Игнатов, А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 596 с. — ISBN 978-5-8114-5149-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/133479">https://e.lanbook.com/book/133479</a> .

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	Беспроводных В.Г. Нелинейная оптика / В.Г. Беспроводных, В.П. Первадчук. - Пермь : ПГТУ, 2011. – 200 с.
4.	Бакланов, Е. В. Основы лазерной физики : учебник / Е. В. Бакланов. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 131 с. — ISBN 978-5-7782-3368-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118455">https://e.lanbook.com/book/118455</a> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5.	Щапова, И. А. Основы оптоэлектроники и лазерной техники : учебное пособие / И. А. Щапова. – 3-е изд., стереотип. – Москва : ФЛИНТА, 2017. – 235 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=103827">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=103827</a> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9765-0040-4. – Текст : электронный.
6.	Булгакова С.А. Нелинейно-оптические устройства обработки информации / С.А. Булгакова, А.Л. Дмитриев - СПб : СПбГУИТМО, 2009. – 56 с.
7.	Розанов Н.Н. Нелинейная оптика: учеб. пособие. Ч. 1. Уравнения распространения излучения и нелинейный отклик среды / Н.Н. Розанов – СПб : СПбГУИТМО, 2008. – 95 с.
8.	Кашкаров П.К. Оптика твердого тела и низкоразмерных структур / П.К. Кашкаров, В.Ю. Тимошенко. - М. : Пульс, 2008. - 292 с.
9.	Астапенко В.А. Оптические методы диагностикиnanoобъектов / В.А. Астапенко, С.А. Зайцев. - Можайск : Можайский полиграфический комбинат, 2011. - 152 с.
10.	Манцызов, Б.И. Когерентная и нелинейная оптика фотонных кристаллов / Б.И. Манцызов. - Москва : Физматлит, 2009. - 208 с. <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68404">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68404</a>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
7.	ЭБС «Университетская библиотека Online» – <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>
8.	ЭБС Лань – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**

№ п/п	Источник
1.	Беспроводных В.Г. Нелинейная оптика / В.Г. Беспроводных, В.П. Первадчук. - Пермь : ПГТУ, 2011. – 200 с.
2.	Бакланов, Е. В. Основы лазерной физики : учебник / Е. В. Бакланов. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 131 с. — ISBN 978-5-7782-3368-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/118455">https://e.lanbook.com/book/118455</a> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3.	Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы обучающимися в магистратуре по направлению "Физика" [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. направления 03.03.02 Физика] / Сост.: Л.Ю. Леонова, И.Г. Гречесева ; Воронеж. гос. ун-т. — Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021.
4.	Игнатов, А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 596 с. — ISBN 978-5-8114-5149-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/133479">https://e.lanbook.com/book/133479</a> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

В учебном процессе используются традиционные и дистанционные образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные занятия. Преобладающими методами и приемами обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и и др., работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton) электронная почта.

## **18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Специализированная мебель, проектор, ноутбук, экран WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcoun

## **19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Введение.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Вопросы, тесты, задачи
2.	Основы нелинейной оптики	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Вопросы, тесты, задачи
3.	Нелинейно-оптическое преобразование частоты.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Вопросы, тесты, задачи
4.	Некоторые устройства нелинейной оптики для управления амплитудой, фазой и расходностью лазерного излучения	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Вопросы, тесты, задачи
5.	Нелинейные эффекты в волоконных световодах	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Вопросы, тесты, задачи
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Комплект КИМ

## **20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

### **20.1. Текущая аттестация**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы, тесты, задачи. Типовые задания теста, вопросы и задачи для проведения аттестации представлены в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины.

**Текущая аттестация №1** Письменный ответ на задание, которое включает в себя пять тестовых заданий, теоретический вопрос и 2 задачи. Время выполнения 45 мин.

**Пример контрольно-измерительный материала для текущей аттестации №1:**

## **Контрольно-измерительный материал № 1**

### **Задание 1. Укажите правильные ответы.**

1. К устройствам нелинейной оптики относятся:

- а) светодиоды
- б) фотодиоды
- в) оптическое волокно
- г) насыщающийся поглотитель

2. К нелинейно-оптическим эффектам относится:

- а) насыщение поглощения
- б) полосовая фильтрация
- в) безызлучательная рекомбинация
- г) дисперсия света в веществе

3. В основе устройств нелинейной оптики лежит:

- а) зависимость показателя преломления от длины волны оптического излучения
- б) зависимость показателя поглощения от длины волны оптического излучения
- в) зависимость показателя преломления от интенсивности оптического излучения
- г) зависимость показателя поглощения от фазы волны оптического излучения

4. Генерация второй гармоники относится к эффектам, связанным с:

- а) нелинейной поляризуемостью третьего порядка
- б) линейной поляризуемостью второго порядка
- в) нелинейной поляризуемостью второго порядка
- г) нелинейной проводимостью

5. В основе работы ячейки Поккельса лежит:

- а) нелинейная поляризуемость третьего порядка
- б) линейная поляризуемость второго порядка
- в) нелинейная поляризуемость второго порядка
- г) нелинейная проводимость

**Задание 2. Дайте развернутый ответ по вопросу:** Использование методов нелинейной оптики для исследования наноструктур и наноматериалов

**Задание 3. Решите задачу:** Рассчитайте интенсивность насыщения поглощения раствора органического красителя, если его коэффициент молярной экстинкции на длине волны лазерного излучения 532 нм равен  $\epsilon = 30000$  литр/моль·см, а время жизни возбуждённого состояния  $10^{-9}$  с. Ответ дать в  $\text{Вт}/\text{см}^2$ , с точностью до двух знаков.

**Задание 4. Решите задачу:** Рассчитать длину Релея перетяжки лазерного пучка в методе з-сканирования, если длина волны излучения составляет 532 нм, диаметр пучка  $d = 6$  мм, а фокусное расстояние собирающей линзы  $f = 30$  см. Ответ дать в мм с точностью до двух знаков.

### **Критерии и шкалы оценивания:**

Для оценивания выполнения письменных заданий используется балльная шкала:

1) тестовые задания:

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 2 балла – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;
- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

3) ответ на теоретический вопрос:

• \_\_\_\_\_ 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• \_\_\_\_\_ 1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• \_\_\_\_\_ 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

В зависимости от набранного балла за работу, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

- от 13 до 15 баллов – «отлично»;
- от 10 до 12 баллов – «хорошо»;
- от 5 до 9 баллов – «удовлетворительно»;
- от 0 до 4 баллов – «неудовлетворительно».

## **20.2. Промежуточная аттестация**

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – зачет. Оценки вносятся в аттестационную ведомость по результатам работы обучающихся в течение семестра на заключительном занятии.

**Пример контрольно-измерительный материала для промежуточной аттестации:**

**Контрольно-измерительный материал № 1 .** (Время подготовки ответа 30 минут, время устного ответа 10 мин)

**Задание 1. Дайте развернутый ответ по вопросу.** Генерация второй гармоники (ГВГ) в кристалле.

**Задание 2. Дайте развернутый ответ по вопросу:** Вынужденное комбинационное рассеяние света.

**Задание 3. Решите задачу:** Рассчитать длину Релея перетяжки лазерного пучка в методе з-сканирования, если длина волны излучения составляет 532 нм, диаметр пучка  $d = 6$  мм, а фокусное расстояние собирающей линзы  $f = 30$  см. Ответ дать в мм с точностью до двух знаков.

### **Критерии и шкалы оценивания:**

Для оценивания выполнения письменных заданий используется балльная шкала:

1) ответ на теоретический вопрос:

• \_\_\_\_\_ 5 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• \_\_\_\_\_ 3 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• \_\_\_\_\_ 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 5 балла – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);

- 3 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;

- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

В зависимости от набранного балла за работу, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

от 6 до 15 баллов – «зачтено»; от 0 до 4 баллов – «не зачтено».

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень типовых заданий для проведения текущих и промежуточных аттестаций**

### **Вопросы**

1. Поляризация диэлектрика в сильном световом поле. Нелинейное взаимодействие электромагнитных волн.
2. Нелинейные оптические свойства металлических наночастиц.
3. Влияние кристаллической структуры на нелинейную восприимчивость. Принцип Неймана.
4. Использование методов нелинейной оптики для исследованияnanoструктур и наноматериалов.
5. Нелинейные кристаллы.
6. Фактор локального поля и нелинейная поляризуемость среды. Механизмы усиления оптических нелинейностей в твердотельных нанокомпозитах.
7. Генерация второй гармоники (ГВГ) в кристалле.
8. Особенности фазового синхронизма в nanoструктурах с двулучепреломлением формы. Фазовый синхронизм и генерация гармоник в фотонных кристаллах.
9. Фазовый (волновой) синхронизм. Параметрическая генерация света.
10. Генерация оптических гармоник в анизотропных nanoструктурах.
11. Ангармонизм свободного и связанного электронов. Классические и квантовые модели взаимодействия излучения с веществом.
12. Комбинационное рассеяние света квантовыми точками.
13. Насыщение переходов. Линейное и нелинейное поглощения.
14. Понятие о силовой оптике. Лучевая прочность.
15. Приборы на основе силовой оптики.
16. Корректоры силового поля.
17. Устройства управления оптического излучения.
18. Оптический пробой среды. Ударные и тепловые нелинейные эффекты.
19. Вынужденное комбинационное рассеяние света.
20. Многофотонные переходы. Нелинейный фотоэффект.
21. Самофокусировка света.

### **Типовые тестовые задания**

1. К устройствам нелинейной оптики относятся:
  - а) светодиоды
  - б) фотодиоды
  - в) оптическое волокно
  - г) насыщающийся поглотитель
2. К нелинейно-оптическим эффектам относится:
  - а) насыщение поглощения
  - б) полосовая фильтрация
  - в) безызлучательная рекомбинация
  - г) дисперсия света в веществе
3. В основе устройств нелинейной оптики лежит:
  - а) зависимость показателя преломления от длины волны оптического излучения
  - б) зависимость показателя поглощения от длины волны оптического излучения
  - в) зависимость показателя преломления от интенсивности оптического излучения
  - г) зависимость показателя поглощения от фазы волны оптического излучения

4. Генерация второй гармоники относится к эффектам, связанным с:

- а) нелинейной поляризуемостью третьего порядка
- б) линейной поляризуемостью второго порядка
- в) нелинейной поляризуемостью второго порядка
- г) нелинейной проводимостью

5. В основе работы ячейки Поккельса лежит:

- а) нелинейная поляризуемость третьего порядка
- б) линейная поляризуемость второго порядка
- в) нелинейная поляризуемость второго порядка
- г) нелинейная проводимость

6. В основе нелинейного поглощения лежит

- а) нелинейная поляризуемость третьего порядка
- б) линейная поляризуемость второго порядка
- в) нелинейная поляризуемость второго порядка
- г) нелинейная проводимость второго и третьего порядка

7. Какое выражение соответствует случаю насыщающегося поглощения:

- а)  $I = h\nu/(\sigma \cdot t)$
- б)  $I = h\nu$
- в)  $I = h\nu \cdot \sigma \cdot t$
- г)  $I = h\nu \cdot t$

8. Интенсивность генерации второй гармоники пропорциональна:

- а)  $I^2$ ;
- б)  $I^3$ ;
- в)  $I$ ;
- г)  $I^{-1}$

9. Оптический ограничитель мощности управляет:

- а) фазой излучения;
- б) интенсивностью излучения;
- в) поляризацией излучения;
- г) направлением распространения

10. Какое выражение описывает нелинейную поляризуемость второго порядка:

- а)  $P = \chi E^2$ ;
- б)  $P = \chi E^3$ ;
- в)  $P = \chi E^{-2}$ ;
- г)  $P = \chi E^{-3}$

### Задачи

1. Рассчитайте интенсивность насыщения поглощения раствора органического красителя, если его коэффициент молярной экстинкции на длине волны лазерного

излучения 532 нм равен  $\epsilon = 30000$  литр/моль·см, а время жизни возбуждённого состояния  $10^{-9}$  с. Ответ дать в Вт/см<sup>2</sup>, с точностью до двух знаков.

2. Рассчитайте интенсивность насыщения поглощения раствора органического красителя, если его коэффициент молярной экстинкции на длине волны лазерного излучения 445 нм равен  $\epsilon = 45000$  литр/моль·см, а время жизни возбуждённого состояния  $10^{-10}$  с. Ответ дать в Вт/см<sup>2</sup>, с точностью до двух знаков.
3. Оцените длительность лазерного импульса, при которой формируется тепловая линза, если скорость звука в воде 1490 м/с, а диаметр перетяжки составляет 10 мкм? Ответ привести в секундах с точностью до двух знаков.
4. Оцените длительность лазерного импульса, при которой формируется тепловая линза, если скорость звука в ацетоне 1190 м/с, а радиус пучка составляет 50 мкм? Ответ привести в секундах с точностью до двух знаков.
5. Рассчитать диаметр перетяжки лазерного пучка в методе z-сканирования, если длина волны излучения составляет 532 нм, диаметр пучка  $d = 6$  мм, а фокусное расстояние собирающей линзы  $f = 30$  см. Ответ дать в мм с точностью до двух знаков.
6. Рассчитать диаметр перетяжки лазерного пучка в методе z-сканирования, если длина волны излучения составляет 1064 нм, диаметр пучка  $d = 6$  мм, а фокусное расстояние собирающей линзы  $f = 30$  см. Ответ дать в мкм с точностью до двух знаков.
7. Рассчитать длину Релея перетяжки лазерного пучка в методе z-сканирования, если длина волны излучения составляет 532 нм, диаметр пучка  $d = 6$  мм, а фокусное расстояние собирающей линзы  $f = 30$  см. Ответ дать в мм с точностью до двух знаков.
8. Рассчитать длину Релея перетяжки лазерного пучка в методе z-сканирования, если длина волны излучения составляет 1064 нм, диаметр пучка  $d = 5$  мм, а фокусное расстояние собирающей линзы  $f = 30$  см. Ответ дать в мм с точностью до двух знаков.