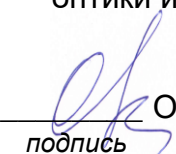


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**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. Шифр и наименование направления подготовки / специальности:  
12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки / специализация: Перспективные материалы и устройства фотоники
3. Квалификация (степень) выпускника: высшее образование (магистр)
4. Форма обучения: \_\_\_\_\_ очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:  
кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: \_\_\_\_\_  
Смирнов Михаил Сергеевич  
(ФИО, ученая степень, ученое звание)  
доктор физико-математических наук, доцент
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 20.06.2023  
(наименование recommending structure, date, protocol number)
8. Учебный год: 2024/2025 Семестр(ы): 3

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование профессиональной компетенции студентов физического факультета, обучающихся по магистерской программе "Перспективные материалы и устройства фотоники", в области в области физических основ нелинейных оптических процессов, возникающих при взаимодействии мощных когерентных потоков электромагнитного излучения с веществом, в том числе, находящемся в наноструктурированном состоянии.

Задачи учебной дисциплины:

- познакомить студентов с современными проблемами, стратегиями и инновациями нелинейных оптических процессов в наноструктурах;
- изучить перспективы развития данного научно-технического направления при создании устройств нелинейной оптики.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплины по выбору (Б1.В.ДВ.4), блок Б1.

**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 нанофотоники	ПК-3.1.	Проводит научные исследования в области нанофотоники, 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 нанофотоники	<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 наноструктур и нанокompозитов. <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

				наноструктурированных материалов, о перспективах развития этого научно-технического направления.
--	--	--	--	--

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 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	
в том числе: курсовая работа (проект)	-		
Форма промежуточной аттестации	-	<i>Зачет</i>	
Итого:	72	72	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1.	Введение.	Интенсивность света и ее влияние на характер оптических явлений. Линейная и нелинейная оптика. Предмет и задачи нелинейной оптики, история и основные этапы ее развития.	
2.	Основы нелинейной оптики	Тензор диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса. Вектор Умова-Пойнтинга и направление распространения фазы. Основные нелинейно-оптические эффекты. Гармонический и ангармонический осциллятор. Линейная и нелинейная поляризуемости. Эффект Поккельса – электрооптический модулятор.	
3.	Нелинейно-оптическое преобразование частоты и устройства.	Генерация второй гармоники (ГВГ) в кристалле. Фазовый (волновой) синхронизм. Параметрическая генерация света. Параметрические генераторы. Устройства нелинейно-оптического преобразования частоты. Ограничители мощности на основе нелинейного поглощения лазерных импульсов	
4.	Нелинейная рефракция и устройства дифракционной оптики	Нелинейное преломление. Фазовая самомодуляция. Фазовая кросс-модуляция в волконно-оптических системах связи. Эффекты, связанные с нелинейным двулучепреломлением. Эффект Керра. Ячейка Керра. Самофокусировка. Сжатие оптических импульсов. Дисперсия групповых скоростей. Оптические солитоны. Модуляционная неустойчивость. Оптические солитоны. Применение оптических солитонов. Нелинейное рассеяние света. Вынужденное комбинационное рассеяние.	

		Применение ВКР. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Применение ВРМБ Принцип обращения волнового фронта. ОВФ при вырожденном четырёхволновом взаимодействии в кубически-нелинейной среде. ОВФ при вынужденном рассеянии. Практическое применение ОВФ. Корректоры волнового фронта.
--	--	--

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.	Введение.	4			10	14
2.	Основы нелинейной оптики	8			10	18
3.	Нелинейно-оптическое преобразование частоты и устройства.	6			10	16
4.	Нелинейная рефракция и устройства дифракционной оптики	12			12	24
	Итого:	30			42	72

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

Основными этапами освоения дисциплины являются:

- Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.

В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, 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 (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Беспрозванных В.Г. Нелинейная оптика / В.Г. Беспрозванных, 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.	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.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
-------	----------

4.	Булгакова С.А. <i>Нелинейно-оптические устройства обработки информации</i> / С.А. Булгакова, А.Л. Дмитриев - СПб : СПбГУИТМО, 2009. – 56 с.
5.	Розанов Н.Н. <i>Нелинейная оптика: учеб. пособие. Ч. 1. Уравнения распространения излучения и нелинейный отклик среды</i> / Н.Н. Розанов – СПб : СПбГУИТМО, 2008. – 95 с.
6.	Кашкаров П.К. <i>Оптика твердого тела и низкоразмерных структур</i> / П.К. Кашкаров, В.Ю. Тимошенко. - М. : Пульс, 2008. - 292 с.
7.	Астапенко В.А. <i>Оптические методы диагностики нанобъектов</i> / В.А. Астапенко, С.А. Зайцев. - Можайск : Можайский полиграфический комбинат, 2011. - 152 с.
8.	Манцызов, Б.И. <i>Когерентная и нелинейная оптика фотонных кристаллов</i> / 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
9.	ЭБС «Университетская библиотека Online» – <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>
10.	ЭБС «Электронная библиотека технического ВУЗа» («ЭБС «Консультант студента») – <a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
11.	ЭБС Лань – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
12.	ЭБС «ПЛАТФОРМА ЮРАЙТ» – <a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
13.	Зональная научная библиотека ВГУ – <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a>

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Калитеевский Н.И. <i>Волновая оптика [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2008. — 480 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/173">https://e.lanbook.com/book/173</a>.</i>
2.	Клюев В.Г. <i>Нелинейные эффекты в оптических волноводах: учеб. пособие дл студентов специальности 010701(010400) - Физика / В.Г. Клюев. - Изд. ВГУ, 2005. -55 с.</i>
3.	<i>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. Гревцева ; Воронеж. гос. ун-т. — Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021.</i>

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

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные занятия. Преобладающими методами и приемам 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., разработка презентаций, сообщений и докладов, 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, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория: Проектор BenQ MS 612ST, Ноутбук Asus, с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ.

Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, оборудованная: компьютером, мультимедийным проектором BenQ MS612ST, экраном, учебной литературой, доской магнитно-маркерной 100\*200.

Аудитория для самостоятельной работы: 15 комп. III поколения, объединенных в сеть с выходом в Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ.

Перечень необходимого программного обеспечения: Операционная система Windows 10 для WinPro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc. Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ». Office Standard 2019 Single OLV NL Each Academic Edition Additional Product. Программный комплекс для ЭВМ - MathWorks Total Academic Headcount–25.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ" (<https://edu.vsu.ru>).

## 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	Типовые задания к лекционным занятиям, индивидуальные задания, опрос
2.	Основы нелинейной оптики	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Типовые задания к лекционным занятиям, индивидуальные задания, опрос
3.	Нелинейно-оптическое преобразование частоты и устройства.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Типовые задания к лекционным занятиям, индивидуальные задания, опрос
4.	Нелинейная рефракция и устройства дифракционной оптики	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Типовые задания к лекционным занятиям, индивидуальные задания, опрос
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Комплект КИМ

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания и критерии их оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос). Критерии оценивания приведены ниже. Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний. При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены в п. 20.2.

Для оценивания результатов обучения на зачете учитываются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами;
- 2) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными современных научных исследований;
- 3) умение применять основные законы и анализировать результаты наблюдений и экспериментов

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью проверки посещаемости лекционных занятий и проверки преподавателем конспектов по пройденному материалу.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Посещение лекционных занятий. Полный ответ на вопрос контрольно-измерительного материала во время зачета. Ответы на дополнительные вопросы.</i>	<i>Повышенный базовый и пороговый уровни</i>	<i>зачтено</i>
<i>Систематические пропуски лекционных занятий без уважительной причины. Неумение давать ответы на вопросы</i>	-	<i>не зачтено</i>

### Перечень вопросов к зачету:

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 исследования наноструктур и наноматериалов.
5. Нелинейные оптические 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 наноструктурах с двулучепреломлением формы. Фазовый синхронизм и генерация гармоник в фотонных кристаллах.
9. Фазовый (волновой) синхронизм. Параметрическая генерация света.
10. Генерация оптических гармоник в анизотропных наноструктурах.
11. Ангармонизм свободного и связанного электронов. Классические и квантовые модели взаимодействия излучения с веществом.
12. Эффект Погкельса – электрооптический модулятор.
13. Параметрические генераторы.
14. Устройства нелинейно-оптического преобразования частоты.
15. Ограничители мощности на основе нелинейного поглощения лазерных импульсов
16. Комбинационное рассеяние света квантовыми точками.
17. насыщение переходов. Линейное и нелинейное поглощения.
18. Понятие о силовой оптике. Лучевая прочность.
19. Оптический пробой среды. Ударные и тепловые нелинейные эффекты.
20. Вынужденное комбинационное рассеяние света.
21. Многофотонные переходы. Нелинейный фотоэффект.
22. Самофокусировка света.

23. Фазовая самомодуляция. Фазовая кросс-модуляция в волконно-оптических системах связи. Эффекты, связанные с нелинейным двулучепреломлением.
24. Эффект Керра.
25. Ячейка Керра.
26. Самофокусировка.
27. Сжатие оптических импульсов. Дисперсия групповых скоростей. Оптические солитоны. Модуляционная неустойчивость.
28. Оптические солитоны. Применение оптических солитонов.
29. Нелинейное рассеяние света. Вынужденное комбинационное рассеяние. Применение ВКР. Вынужденное рассеяние Манделштама-Бриллюэна. Применение ВРМБ
30. Принцип обращения волнового фронта. ОВФ при вырожденном четырёхволновом взаимодействии в кубически-нелинейной среде. ОВФ при вынужденном рассеянии.
31. Практическое применение ОВФ. Корректоры волнового фронта.