


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

УТВЕРЖДАЮ

 Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии
(Овчинников О.В.)
подпись, расшифровка подписи

14.06.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.03.01 Нелинейная оптика

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:
03.04.02 – Физика
2. Профиль подготовки /специализации/магистерская программа:
Оптика и нанофотоника
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 13.06.2024
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)
8. Учебный год: 2025/2026 Семестр(ы): 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование профессиональной компетенции студентов физического факультета, обучающихся по магистерской программе "Оптика и нанофотоника", в области физических основ нелинейных оптических процессов, возникающих при взаимодействии мощных когерентных потоков электромагнитного излучения с веществом, в том числе, находящемся в наноструктурированном состоянии. Кроме этого, в данном курсе рассматриваются технические применения нелинейных оптических эффектов, в частности, для исследования наноструктур и наноматериалов.

Задачи учебной дисциплины:

- познакомить студентов с современными проблемами, стратегиями и инновациями нелинейных оптических процессов в наноструктурах
- *изучить перспективы развития данного научно-технического направления.*

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 "Нелинейная оптика" относится к вариативной части блока Б1. Является курсом по выбору.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой	ПК-2.3	Анализирует состояние научно-технической проблемы, систематизирует и обобщает научно-техническую информацию по теме исследований в области квантовой электроники и фотоники и наноструктурных материалов	знать: принципы построения баз данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов уметь: создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой владеть: методиками экспериментальной проверки выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследования параметров наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой
ПК-4	Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием,	ПК-4.2	Решая различные профессиональные задачи, применяет знания физических принципов работы приборов квантовой	знать: методики работы с исследовательским испытательным оборудованием, приборами и установками в предметной области квантовой электроники и фотоники

приборами и установками в предметной области квантовой электроники и фотоники	электроники и фотоники, базовых технологических процессов и технологического оборудования.	уметь: профессионально работать с исследовательским испытательным оборудованием, приборами и установками в предметной области квантовой электроники и фотоники владеть: приёмами работы с исследовательским испытательным оборудованием, приборами и установками в предметной области квантовой электроники и фотоники
---	--	---

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации зачёт

13 Виды 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 (зачёт – <u>36 час.</u>)			
Итого:		72	72

13.1 Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Введение в нелинейную оптику	Волновое уравнение. Электрическая индукция, поляризуемость. Плоская волна. Сферическая волна. Гауссов пучок. Комплексный показатель преломления, комплексная проводимость.
2	Начала кристаллооптики	Тензор диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса. Вектор Умова-Пойнтинга и направление распространения фазы.
3	Классическое описание взаимодействия электрического поля волны и вещества	Гармонический и ангармонический осциллятор. Линейная и нелинейная поляризуемость.
4	Нелинейно-оптические эффекты, связанные с нелинейной диэлектрической восприимчивостью	Эффект Поккельса – электрооптический модулятор. Эффект Керра, Фарадея.
5	Генерация гармоник, условие фазового синхронизма	Генерация гармоник, условие фазового синхронизма. Параметрическое преобразование и параметрический генератор света.
6	Метод медленно меняющихся амплитуд	Уравнения для связанных амплитуд. Соотношения Мэнли-Роу. Генерация суммарной частоты. Решение с учётом

		<i>истощения волны накачки. Внутриврезонаторная генерация второй гармоники</i>
7	<i>Пространственные и временные эффекты при нелинейном преобразовании частоты света</i>	<i>Диафрагменный апертурный эффект. Дифракция. ГВГ в расходящихся пучках. ГВГ сфокусированных гауссовых пучков. Преобразование некогерентного излучения. Преобразование импульсного излучения. Пространственно-временная аналогия. Расчёт нелинейно-оптических преобразователей частоты</i>
8	<i>Обращение волнового фронта</i>	<i>Принцип обращения волнового фронта. ОВФ при вырожденном четырёхволновом взаимодействии в кубически-нелинейной среде. ОВФ при вынужденном рассеянии. Практическое применение ОВФ</i>

13.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
1	<i>Введение в нелинейную оптику</i>	2			5		7
2	<i>Начала кристаллооптики</i>	4			5		9
3	<i>Классическое описание взаимодействия электрического поля волны и вещества</i>	4			5		9
4	<i>Нелинейно-оптические эффекты, связанные с нелинейной диэлектрической восприимчивостью</i>	4			5		9
5	<i>Генерация гармоник, условие фазового синхронизма</i>	4			5		9
6	<i>Метод медленно меняющихся амплитуд</i>	4			5		9
7	<i>Пространственные и временные эффекты при нелинейном преобразовании частоты света</i>	4			5		9
8	<i>Обращение волнового фронта</i>	4			7		11
	<i>Итого</i>	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.*
- Подготовка к лабораторным занятиям.*

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 лабораторных 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 (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Сизмин Д.В. <i>Нелинейная оптика</i> / Д.В. Сизмин. - Саров. 2015. - 147 с. https://sarfti.ru/wp-content/uploads/2014/05/Сизмин-ДВ-Нелинейная-оптика-2015.pdf
2	Морозов В.Г. <i>Физика низкоразмерных структур [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Морозов В.Г. — М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2019. —</i> https://fks.mirea.ru/wp-content/uploads/items/ФНС/Физика-низкоразмерных-структур.pdf

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Шен И.Р. <i>Принципы нелинейной оптики</i> / И.Р. Шен. - М. : Наука, 1989. - 560 с.
4	Беспрозванных В.Г. <i>Нелинейная оптика</i> / В.Г. Беспрозванных, В.П. Первадчук. - Пермь: ПГТУ, 2011. - 200 с.
5	Булакова С.А. <i>Нелинейно-оптические устройства обработки информации</i> / С.А.Булакова, А.Л. Дмитриев - СПб: СПбГУИТМО, 2009. - 56 с.
6	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.
7	Кашкаров П.К. <i>Оптика твердого тела и низкоразмерных структур</i> / П.К.Кашкаров, В.Ю.Тимошенко. - М. : Пульс, 2008. - 292 с.
8	Астапенко В.А. <i>Оптические методы диагностики нанобъектов</i> / В.А. Астапенко, С.А. Зайцев. - Можайск : Можайский полиграфический комбинат, 2011. - 152 с.
9	Манцызов, Б.И. <i>Когерентная и нелинейная оптика фотонных кристаллов</i> / Б.И. Манцызов. - Москва : Физматлит, 2009. - 208 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68404
10	<i>Элементы квантовой оптики и квантовой механики : учебное пособие / . - Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2012. - 89 с.</i> http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=230501
11	Дмитриев В.Г. <i>Прикладная нелинейная оптика</i> / В.Г. Дмитриев, Л.В. Тарасов. - М.: Физматлит, 2004. - 512 с.
12	Страховский Г.М., <i>Основы квантовой электроники</i> / Г.М.Страховский, А.В. Успенский - М.: Высшая школа, 1973. - 312 с.
13	Яриев А. <i>Квантовая электроника</i> / А. Яриев - М.: Советское радио, 1980. - 488 с.
14	Цернике Ф., Мидвинтер Дж. <i>Прикладная нелинейная оптика</i> . - М.: Мир, 1976. - 264 с.
15	Демтрёдер В. <i>Лазерная спектроскопия</i> / В. Демтрёдер - М.: Наука, 1985. - 608 с.
16	Калитеевский Н.И. <i>Волновая оптика [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2008. — 480 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/173.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
17	Электронный каталог ЗНБ ВГУ https://www.lib.vsu.ru/
18	ЭБС "Издательства "Лань" https://e.lanbook.com
19	ЭБС "Университетская библиотека online" https://biblioclub.lib.vsu.ru
20	ЭБС «Электронная библиотека технического ВУЗа» (ЭБС «Консультант студента») http://www.studmedlib.ru
21	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" http://rucont.ru
22	Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» https://urait.ru
23	Поисковая система e-library.ru
24	Поисковая система google.ru
25	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Библиотека http://window.edu.ru/

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

№ п/п	Источник
1	Клюев В.Г. <i>Нелинейные эффекты в оптических волноводах: учеб. пособие для студентов специальности 010701(010400) - Физика / В.Г. Клюев. - Изд. ВГУ, 2005. -55 с.</i>
2	Электронный курс "Нелинейная оптика наноструктурированных материалов" для дистанционного обучения https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15980

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и практические 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 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.

Организационная структура лабораторного занятия: 1. Формулировка целей занятия и ответы на вопросы студентов. 2. Ознакомление с теоретической основой работы, основными приемами и техникой безопасности при работе с используемыми приборами и реактивами. 3. Выполнение экспериментальной части работы. 4. Обработка экспериментальных результатов и предоставление их для предварительной проверки преподавателю.

Защита лабораторной работы проводится с целью выявления уровня освоения материала по тематике работы, способности дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы. Защита работы заключается в оформлении работ, устной беседе преподавателя со студентом по полученным в работе результатам и основным теоретическим понятиям по теме работы.

Текущий контроль проводится путем проверки выполнения домашнего задания, входного контроля (в виде самостоятельных и контрольных работ, докладов и рефератов).

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:

Ноутбук Asus, с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ, Проектор BenQ MS 612ST, Доска магнитно-маркерная 100*200. Программное обеспечение: ОС Windows (WinPro 8 RUSUpgrdOLPNLAcademic), Microsoft Office (OfficeSTD 2013 RUSOLPNLAcademic). Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ». Office Standard 2019 Single OLV NL Each AcademicEdition Additional Product. Программный комплекс для ЭВМ - MathWorks. Система инженерного моделирования ANSYS HF Academic Research.

Аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, текущей и промежуточной аттестации

Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)

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

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
<p>ПК-2Способен создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой</p>	<p>знать: принципы построения баз данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов уметь: создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов, проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследовать параметры наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой владеть: методиками экспериментальной проверки выбранных технологических решений производства оптических и акустооптических приборов, исследования параметров наноструктурных материалов в соответствии с самостоятельно выбранной и утвержденной методикой</p>	<p>Разделы 1-8</p>	<p>Устный опрос</p>
<p>ПК-4Способен профессионально работать с исследовательскими испытательным оборудованием, приборами и установками в предметной области квантовой электроники и фотоники</p>	<p>знать: методики работы с исследовательским испытательным оборудованием, приборами и установками в предметной области квантовой электроники и фотоники уметь: профессионально работать с исследовательским испытательным оборудованием, приборами и установками в предметной области квантовой электроники и фотоники владеть: приемами работы с исследовательским испытательным оборудованием, приборами и установками в предметной области квантовой электроники и фотоники</p>	<p>Разделы 1-8</p>	<p>Устный опрос</p>
<p>Промежуточная аттестация (зачёт)</p>			<p>КИМ</p>

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели

(ЗУНЫ из 19.1):

- знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины;
- умение связывать теорию с практикой;
- умение описывать основные характеристики, методики контроля и допуски на параметры оптических деталей;
- владение знаниями о современных методиках контроля параметров оптических деталей.

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

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

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к

1. Волновое уравнение. Электрическая индукция, поляризуемость.
2. Плоская волна. Сферическая волна. Гауссов пучок.
3. Комплексный показатель преломления, комплексная проводимость.
4. Тензор диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса.
5. Вектор Умова-Пойнтинга и направление распространения фазы.
6. Гармонический и ангармонический осциллятор.
7. Линейная и нелинейная поляризуемости.
8. Эффект Поккельса – электрооптический модулятор.
9. Эффект Керра, Фарадея.
10. Генерация гармоник, условие фазового синхронизма.
11. Параметрическое преобразование и параметрический генератор света.
12. Уравнения для связанных амплитуд. Соотношения Мэнли-Роу.
13. Генерация суммарной частоты - решение с учётом истощения волны накачки.
14. Внутррезонаторная генерация второй гармоники
15. Диафрагменный апертурный эффект.
16. ГВГ в расходящихся пучках. ГВГ сфокусированных гауссовых пучков.
17. Преобразование некогерентного излучения.
18. Преобразование импульсного излучения.
19. Пространственно-временная аналогия.
20. Расчёт нелинейно-оптических преобразователей частоты
21. Принцип обращения волнового фронта.
22. Обращение волнового фронта при вырожденном четырёхволновом взаимодействии в кубически-нелинейной среде.
23. Обращение волнового фронта при вынужденном рассеянии.
24. Практическое применение обращения волнового фронта

19.3.2. Контрольно-измерительный материал

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

_____ Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи

___. ___. 20__

Направление подготовки / специальность 03.04.02 – Оптика и нанофотоника

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 Нелинейная оптика

Форма обучения очная

Вид контроля зачёт

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал №1

1. Волновое уравнение. Электрическая индукция, поляризуемость.
2. Генерация гармоник, условие фазового синхронизма.

Преподаватель _____ Смирнов М.С.
подпись расшифровка подписи

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

_____ Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи

___. ___. 20__

Направление подготовки / специальность 03.04.02 – Оптика и нанофотоника

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.01 Нелинейная оптика

Форма обучения очная

Вид контроля зачёт

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал №2

1. Линейная и нелинейная поляризуемости.
2. Эффект Поккельса – электрооптический модулятор.

Преподаватель _____ Смирнов М.С.
подпись расшифровка подписи

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценки 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, фронтальная беседа); тестирования; оценки результатов практической деятельности (выполнение лабораторных работ). Критерии оценивания приведены выше.

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 используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше