

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
теоретической физики  
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

(Фролов М.В.)  
подпись, расшифровка подписи

. 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.02 – Основы нелинейной оптики

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.02 – физика

2. Профиль подготовки/специализация: Физика лазерных и спектральных технологий

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная (дневная)

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0802 – теоретической физики

6. Составители программы Саранцева Татьяна Сергеевна

ФИО

К.ф.-М.Н.

ученая степень

ученое звание

7. Рекомендована: НМС физического факультета от 17.06.2022 г. протокол № 6  
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)

8. Учебный год: 2024 - 2025

Семестр(ы)/Триместр(ы): 6

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:** основной целью дисциплины "Основы нелинейной оптики" является формирование у студентов ясной физической картины явлений, происходящих при взаимодействии интенсивного когерентного электромагнитного излучения с нелинейной средой. В ходе изучения дисциплины студент должен овладеть основными методами нелинейной оптики, получить четкое представление о нелинейно-оптических явлениях, а также приобрести навыки решения практических задач нелинейной оптики.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Является дисциплиной вариативной части Б1.В. Курс посвящен теоретическому описанию различных классов задач когерентной нелинейной оптики. Для освоения курса необходимо использовать материал всех курсов базовой части профиля «*Физика лазерных и спектральных технологий*».

**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-5	Способность проводить экспериментальную проверку выбранных технологических решений производства приборов и исследование параметров наноструктурных материалов спектральными методами	ПК-5.3	Составление перечня параметров, подлежащих контролю и измерению при проведении технологических процессов и анализе используемых материалов	<p>знать: основные положения и методы нелинейной оптики;</p> <p>уметь: использовать в профессиональной деятельности знания о нелинейных свойствах материалов, применять основные методы нелинейной оптики для расчета нелинейного отклика среды на воздействие интенсивного светового поля, применять полученные знания для освоения профильных дисциплин и решения профессиональных задач;</p>
ПК-6	Способность разрабатывать оптимальные спецификации для производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов по данным экспериментальных исследований и результатам анализа коммерческой информации	ПК-6.1	Умение производить анализ исходных требований к параметрам разрабатываемых приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов	<p>Владеть: современным аппаратом теоретической и математической физики, необходимым для решения задач нелинейной оптики</p>

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.** (в соответствии с учебным планом) — 2 / 72.

**Форма промежуточной аттестации**(зачет/экзамен) зачет

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			6	...
Аудиторные занятия		42	42	
в том числе:	Лекции	28	28	
	групповые консультации	14	14	
	Лабораторные			
Самостоятельная работа		30	30	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – __ час.)		Зачет	Зачет	
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>			
1.1	Введение. Распространение электромагнитных волн в нелинейной среде.	Введение. Система уравнений Максвелла в нелинейной среде. Связанные волны в нелинейной среде. Распространение электромагнитных импульсов с огибающей. Приближение медленно меняющейся амплитуды.	-
1.2	Нелинейные оптические восприимчивости.	Классические модели нелинейной среды. Микроскопические выражения для нелинейных восприимчивостей.	-
1.3	Связь мод излучения.	Генерация второй гармоники. Генерация суммарных и разностных частот. Параметрическое усиление.	-
1.4	Нелинейное рассеяние света.	Вынужденное комбинационное рассеяние. Модель Плачека. Связь стоксовой и антистоксовой компонент. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.	-
1.5	Процессы третьего порядка.	Самофокусировка импульса. Каналирование и филаментация. Трехволновое смешение. Наведенное двулучепреломление.	-
1.6	Резонансное взаимодействие электромагнитного излучения с системой двухуровневых частиц.	Уравнение Блоха для двухуровневой системы. Нестационарная нутация и затухание свободной поляризации. Фононное эхо. Самоиндуцированная прозрачность. Сверхизлучение.	-
<b>2. Групповые консультации</b>			
2.1	Процессы третьего порядка	Генерация третьей гармоники	-
2.2	Квантовое описание нелинейных восприимчивостей	Формализм матрицы плотности. Диаграммная техника.	-
2.3	Нелинейное рассеяние света	Квантовая теория комбинационного рассеяния	-

\* заполняется, если отдельные разделы дисциплины изучаются с помощью онлайн-курса. В колонке Примечание необходимо указать название онлайн-курса или ЭУМК. В других случаях в ячейки ставятся прочерки.

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Групповые консультации	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
6 семестр						
1	Уравнения Максвелла в среде	3	1		5	9
2	Нелинейные оптические восприимчивости	5	4		5	14
3	Связь мод излучения	5	3		5	13
4	Нелинейное рассеяние света	5	3		5	13
5	Процессы третьего порядка	5	1		5	11
6	Взаимодействие с двухуровневой системой	5	2		5	12
	Итого:	28	14		30	72

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

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др.)

Необходимо строго следовать рекомендациям преподавателя по изучению материала.  
Систематически выполнять задания, предлагаемые преподавателем.

### 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	Салех, Бахаа Е.А. Оптика и фотоника. Принципы и применения = <i>Fundamentals of photonics</i> : [учебное пособие] : [в 2 т.] / Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В.Л. Деврова. — Долгопрудный : Изд. Дом "Интеллект", Т. 1. — 2012. — 759 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Желтиков А.М. Сверхкороткие импульсы и методы нелинейной оптики / А.М. Желтиков. — М. : Физматлит, 2006. — 294 с
3	Милославский В.К. Нелинейная оптика : учебное пособие для студ. старших курсов, аспирантов и научных работников / В.К. Милославский ; Харьков. нац. ун-т им. В.Н.Каразина. — Харьков : ХНУ, 2008. — 311 с.
4	Быков, Владимир Павлович. Лазерные резонаторы / В. П. Быков, О. О. Силичев. — М. : Физматлит, 2004. — 319 с.
5	Ахманов, С. А. Проблемы нелинейной оптики (Электромагнитные волны в нелинейных диспергирующих средах), 1962-1963 / С.А. Ахманов, Р.В. Хохлов. — М., 1964
6	Апанасевич, П. А. Основы теории взаимодействия света со веществом / П.А. Апанасевич. — Минск : Наука и техника, 1977
8	Бломбергсен, Н. Нелинейная оптика / Н. Бломбергсен. — М. : Мир, 1966. — 424 с.
9	Делоне, Н. Б. Основы нелинейной оптики атомарных газов / Н. Б. Делоне, В. П. Крайнов. — М. : Наука : Физматлит, 1986. — 181 с.
10	Келих, С. Молекулярная нелинейная оптика / С. Келих ; пер. с пол. под ред. И.Л. Фабелинского. — М. : Наука, 1981
11	Шен, И.Р. Принципы нелинейной оптики / И.Р. Шен ; пер. с англ. И.Л. Шумая; под ред. С.А. Ахманова. — М. : Наука, 1989. — 557 с.

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

№ п/п	Ресурс
12	<a href="https://books.ifmo.ru/file/pdf/342.pdf">https://books.ifmo.ru/file/pdf/342.pdf</a>

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

## 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

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

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционная аудитория, доска, учебная литература, дисплейный класс.

## 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.	Разделы 1.1 – 1.6, 2.1 – 2.3	ПК - 5, ПК - 6	ПК – 5.3 ПК – 6.1	Тестовые задания
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет				Список вопросов к зачету

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

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Примеры тестовых заданий

1. Какие моды излучения будут возбуждаться в нелинейной среде с квадратичной нелинейной восприимчивостью под действием электромагнитной волны с частотами  $w_1$  и  $w_2$ .
2. Какие моды излучения будут возбуждаться в нелинейной среде с кубической нелинейной восприимчивостью под действием электромагнитной волны с частотами  $w_1$  и  $w_2$ .

3. На нелинейную среду с собственной частотой колебаний  $\Omega$  падает излучение с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Как должны быть связаны между собой частоты излучения, чтобы наблюдалось вынужденное комбинационное рассеяние
4. На нелинейную среду с собственной частотой колебаний  $\Omega$  падает излучение с основной частотой  $\omega$ . Чему будет равна частота стоксовой компоненты. При каких условиях возможно наблюдать усиление стоксовой компоненты.
5. На нелинейную среду с собственной частотой колебаний  $\Omega$  падает излучение с основной частотой  $\omega$ . Чему будет равна частота антистоксовой компоненты. При каких условиях возможно наблюдать усиление антистоксовой компоненты.
6. Может ли наблюдаться явление самофокусировки в нелинейной среде с квадратичной нелинейностью?
7. Может ли наблюдаться удвоение частоты в среде с центром симметрии?
8. Возможна ли генерация третьей гармоники в среде с квадратичной восприимчивостью?

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Список вопросов для проведения зачета

1. Система уравнений Максвелла в сплошной среде. Линейный и нелинейный отклик.
2. Связанные волны в нелинейной среде. Перенос энергии в нелинейной среде.
3. Приближение медленно меняющейся амплитуды. Вывод укороченных уравнений для огибающей импульса.
4. Нелинейные восприимчивости. Общие свойства.
5. Модель Друде-Лоренца.
6. Нелинейный гармонический осциллятор.
7. Квантово-механический расчет нелинейных восприимчивостей. Формализм матрицы плотности.
8. Теория возмущений в формализме матрицы плотности. Диаграммная техника.
9. Генерация второй гармоники.
10. Генерация суммарной и разностной частоты.
11. Параметрическое усиление.
12. Вынужденное комбинационное рассеяние. Модель Плачека.
13. Вынужденное комбинационное рассеяние. Квантовый подход.
14. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.
15. Четырехволновое смешение. Общие свойства восприимчивостей 3го порядка.
16. Нелинейность Керра. Вращение эллипса поляризации.
17. Самофокусировка. Нелинейное уравнение Шредингера.
18. Самофокусировка Гауссовых пучков.
19. Динамика двухуровневой системы в поле с резонансной частотой. Фотонное эхо.

### Описание технологии проведения

Зачет проходит в два этапа. Первый этап в письменной форме. Студенту предлагается 10 вопросов из полного списка вопросов, на которые он должен дать краткий ответ в течение одного академического часа. Второй этап в устной форме. Студенту предлагается один вопрос из полного списка вопросов, на который он должен дать развернутый ответ.

### Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

«Зачтено»: даны правильные ответы на 7 и более письменных вопросов, дан полный и развернутый ответ на устный вопрос. Допускаются погрешности, которые студент способен скорректировать под руководством преподавателя

«Не зачтено»: правильные ответы даны на менее, чем 7 вопросов; не получен полный и развернутый ответ на устный вопрос; ответы на вопросы содержат неточности и ошибки, которые студент не способен скорректировать под руководством преподавателя.