

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)

  
УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по ОД  
А. А. Цыффилов  
« 03 » 09 2018г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Профиль/программа подготовки

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
7	6/216	18	18	36	99	Экз., КР (45 ч.)
Итого	6/216	18	18	36	99	Экз., КР (45 ч.)

Владимир, 2018 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины "Взаимодействие лазерного излучения с веществом" является формирование у студентов знаний физических основ широкого круга фундаментальных процессов, происходящих при взаимодействии интенсивного оптического излучения с веществом, которые реализуются, в том числе в ряде лазерных технологических процессов, а также получение практических навыков реализации подобных процессов. Принципиально важным также является установление понимания взаимосвязи между физическими характеристиками взаимодействия лазерного излучения с веществом с конечными параметрами физических и технологических процессов, в которых реализуются данные явления.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» относится к обязательным дисциплинам вариативной части ОПОП подготовки бакалавров по направлению «Лазерная техника и лазерные технологии».

Для освоения данной дисциплины учащимся требуются знания, получаемые в рамках следующих предшествующих дисциплин: Основы квантовой электроники; Когерентная оптика; Нелинейная оптика; Оптические материалы и технология; Приёмники оптического излучения.

В то же время, освоение дисциплины необходимо для успешного освоения последующих дисциплин, таких как «лазерные технологии», а также прохождения преддипломной практики и написания выпускной квалификационной работы.

Успешное освоение дисциплины «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» предполагает наличие у обучающихся следующих знаний, умений и навыков, полученных при изучении указанных дисциплин и в ходе прохождения учебной и производственной практик:

- Знание физических принципов функционирования лазерных систем, управления лазерным излучением, а также основных законов, описывающих электромагнитное излучение;
- Знание методов и навыки математического описания распространения лазерного излучения в среде, а также базовых принципов создания соответствующих компьютерных моделей;
- Умение применять системный подход и основные методы проектирования оптических систем.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **Знать:**

- взаимосвязь между основными законами естественно-научных дисциплин и процессами, протекающими при взаимодействии лазерного излучения с веществом, а также методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования данных процессов;

- основные принципы постановки экспериментов в области лазерной физики.

**Уметь:**

- выполнять практические работы с лазерными источниками и исследовать их характеристики, измерять параметры лазерного излучения;
- моделировать процессы и объекты приборостроения;
- анализировать поставленные задачи;
- проводить измерения по заданной методике.

**Владеть:**

- способностью проводить эксперименты, обработку и представлять экспериментальные данные;
- навыками математического моделирования;
- способностью рассчитывать и проектировать элементы и устройства, используемые в лазерных технологических процессах, а также при постановке экспериментов в области лазерной физики.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен овладеть следующими профессиональными компетенциями:

способностью к анализу поставленной задачи исследований в области приборостроения (ПК-1); готовностью к математическому моделированию процессов и объектов приборостроения и их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов (ПК-2); способностью к проведению измерений и исследования различных объектов по заданной методике (ПК-3).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Лекции	Семинары	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС			КП / КР
1	Введение в дисциплину.	7	1	2					6	+	1/50	-
2	Механизмы поглощения и диссипации энергии в металлах и веществе.	7	2-7	6		6	12		36	+	6/25	
3	Процессы, протекающие при нагревании материалов лазерным излучением.	7	8-9	2		2	4		12	+	2/25	Рейтинг-контроль №1
4	Нелинейные эффекты воздействия интенсивного лазерного излучения на вещество.	7	10-15	6		6	12		33	+	6/25	Рейтинг-контроль №2
5	Физические механизмы лазерных технологий	7	15-18	2		4	8		18	+	4/28	Рейтинг-контроль №3
Всего		7	18	18		18	36		99	КР	19/26	Экзамен (45 ч.)

## Содержания дисциплины

### **1. Раздел 1. Введение в дисциплину.**

*Лекция 1.* Излучение и вещество. Роль изучаемой дисциплины в структуре образования. Связь дисциплины с другими предметными областями. Основные направления существующих и перспективных исследований.

### **2. Раздел 2. Механизмы поглощения и диссипации энергии в веществе.**

*Лекция 2.* Воздействие лазерного излучения на атомы и молекулы.

Основные уравнения, описывающие процессы распространения электромагнитного излучения в веществе – классическая электродинамика. Тепловая модель. Оптическая восприимчивость атомарной среды. Резонансное давление света на атомы. Сдвиг атомных уровней в электромагнитном поле. Двухуровневая система в сильном резонансном поле.

*Лекция 3.* Поглощение лазерного излучения металлами и их оптических свойства.

Распространение электромагнитных волн в проводящих средах. Основные уравнения оптики металлов. Оптические свойства металлов. Скин-эффект и его свойства. Частотная зависимость поглощательной способности металла при различных видах нормального скин-эффекта. Вклад аномальности скин-эффекта в поверхностное поглощение.

*Лекция 4.* Взаимодействие света с полупроводниковыми средами.

Зонная структура полупроводника. Основные механизмы оптического поглощения в полупроводниках. Особенности межзонного и внутризонного поглощения. Насыщение межзонного поглощения. Внутризонное поглощение света и зависимость поглощательной способности полупроводника от концентрации свободных носителей. Кинетика фотовозбуждения полупроводника под воздействием лазерного излучения. Влияние диффузионно-рекомбинационных процессов.

### **Раздел 3. Процессы, протекающие при нагревании материалов лазерным излучением**

*Лекция 5.* Общая характеристика нагревания лазерным излучением.

Свойства лазерного излучения и их влияние на протекание технологического процесса. Воздействие непрерывного и импульсного излучения на поглощающие и прозрачные среды. Уравнение теплопроводности и его решения в различных пределах.

### **Раздел 4. Нелинейные эффекты воздействия интенсивного лазерного излучения на вещество.**

*Лекция 6.* Основные эффекты нелинейной оптики.

Основные уравнения нелинейной оптики. Нелинейный осциллятор. Осциллятор с кубической нелинейностью. Зависимость частоты колебаний от амплитуды. Самовоздействие света в нелинейной среде. Самофокусировка.

*Лекция 7.* Нелинейные эффекты в газовых средах.

Многофотонное возбуждение. Нелинейная ионизация. Явление самоиндуцируемой прозрачности.

*Лекция 8.* Нелинейные эффекты в конденсированных средах.

Нелинейные восприимчивости прозрачных сред. Эффект Керра. Электрострикция и электрокалорический эффект. Возбуждение второй гармоники. Возбуждение высших гармоник. Методы осуществления фазового синхронизма. Параметрические генераторы.

### **Раздел 5. Физические механизмы лазерных технологий.**

*Лекция 9.* Технологические лазеры и лазерное излучение.

Оптические схемы лазерной обработки. Лазерная микрообработка материалов. Лазерное термоупрочнение и сварка. Лазерная резка.

**Темы лабораторных работ:**

1. Воздействие фемтосекундных импульсов на твердое тело.
2. Тепловое воздействие лазерного излучения на вещество.
3. Изучение работы твердотельного технологического лазера. Лазерная маркировка металлических материалов.

**Темы практических занятий:**

Практические занятия подразумевают решение задач по следующим тематическим разделам:

1. Распространение лазерных пучков в свободном пространстве и в среде (в том числе, активной среде).
2. Многофотонное возбуждение. Нелинейная ионизация. Двухуровневая система в сильном резонансном поле.
3. Давление света. Рассеяние света
4. Нагрев материала лазерным излучением. Лазерное испарение. Разрушение поглощающего материала.
5. Оптический пробой газов. Возбуждение звука в жидкостях.
6. Воздействие фемтосекундных импульсов.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

- лекционно-семинарская система обучения (традиционные лекционные и практические занятия);
- мастер-классы (демонстрация на практических занятиях принципов расчета задач по различным темам);
- применение мультимедиа технологий (проведение лекционных занятий с применением компьютерных презентаций и демонстрационных роликов с помощью проектора или компьютера);
- информационно-коммуникационные технологии (применение информационных технологий для мониторинга текущей успеваемости студентов и контроля знаний).
- Встречи с учеными и специалистами, работающими в направлении развития и использования перспективных лазерных технологий.

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

Текущий контроль успеваемости студентов основывается на успешности работы студентов по нескольким направлениям:

- Выполнение курсовой работы (для рейтинг-контролей №2 и №3);
- Успешность выступления при защите курсовой работы;
- Активность во время лекционных и практических занятий.

**Вопросы к рейтинг-контролю №1**

1. Механизмы поглощения и диссипации энергии в веществе.
2. Качественная схема механизмов поглощения излучения, а также перехода энергии в тепло. Кинетика данных процессов.

3. Тепловая модель лазерного воздействия на вещество.
4. Связь оптических постоянных с микрохарактеристиками металла.
5. Основные механизмы оптического поглощения в полупроводниках; механизмы и последовательность передачи энергии.
6. Поглощательная способность металлов.
7. Аномальный скин-эффект. Вклад в поверхностное поглощение.
8. Частотная зависимость поглощательной способности металла при различных видах нормального скин-эффекта.
9. Оптические процессы в полупроводниках.
10. Внутризонное поглощение света и зависимость поглощательной способности полупроводника от концентрации свободных носителей

Вопросы к рейтинг-контролю №2

1. Основные уравнения нелинейной оптики. Нелинейный осциллятор.
2. Осциллятор с кубичной нелинейностью.
3. Самовоздействие света в нелинейной среде. Самофокусировка.
4. Многофотонное возбуждение.
5. Нелинейная ионизация.
6. Нелинейные восприимчивости прозрачных сред.
7. Эффект Керра.
8. Электрострикция и электрокалорический эффект.
9. Возбуждение второй гармоники.
10. Параметрические генераторы

Вопросы к рейтинг-контролю №3

1. Тепловые эффекты в конденсированных средах.
2. Теплопроводностные механизмы отвода тепла.
3. Разрушение прозрачных твердых тел под действием лазерного излучения.
4. Лазерная стереолитография.
5. Физические процессы лазерной резки.
6. Физические механизмы лазерной сварки.
7. Физические механизмы лазерного упрочнения.
8. Селективные механизмы воздействия лазерного излучения на вещество.
9. Принцип действия оптического пинцета.
10. Принцип действия ближнеполевого оптического микроскопа.

Примерный список вопросов к экзамену

1. Классический, полуклассический и квантово-механический подходы к описанию взаимодействия излучения с веществом.
2. Уравнения Максвелла. Решение для прозрачных диэлектриков и металлов.
3. Оптические свойства диэлектриков в модели Лоренца (показатель преломления и коэффициент поглощения).
4. Временная и пространственная дисперсии.
5. Распространение оптических волн в проводящих средах. Скин-эффект.
6. Зависимость оптических свойств металлов от частоты (дисперсия металлов в модели Лоренца).
7. Механизмы поглощения оптического излучения полупроводниковыми средами.
8. Рекомбинация и захват электронов и дырок в полупроводниках

9. Механизмы передачи поглощенной энергии оптического излучения кристаллической решетке в полупроводниках. Механизмы рекомбинации.
10. Основные нелинейные эффекты в оптике. Материальное уравнение нелинейной среды.
11. Нелинейная поляризация. Нелинейная восприимчивость. Квадратичная и кубичные среды.
12. Описание взаимодействия света со средой в модели нелинейного осциллятора. Уравнение с квадратичной нелинейностью.
13. Описание взаимодействия света со средой в модели нелинейного осциллятора. Уравнение с кубичной нелинейностью.
14. Нелинейная поляризация. Линейная и нелинейная восприимчивости.
15. Сдвиг атомных уровней в поле лазерного излучения.
16. Многофотонное возбуждение.
17. Лазерная резка.
18. Лазерная сварка.
19. Лазерное упрочнение.
20. Лазерная стереолитография.

#### **Вопросы для самостоятельной работы студентов**

1. Воздействие сверхкоротких лазерных импульсов на материалы.
2. Двухтемпературная модель при сверхкоротком воздействии.
3. Особенности экспериментального изучения воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на материалы.
4. Особенности разлета вещества при фемтосекундном лазерном воздействии.
5. Плавление при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов. Термическое плавление с высокими скоростями. Нетермическое плавление.
6. Фотофизическая абляция.
7. Общая характеристика механизмов лазерного разрушения. Механическое низкотемпературное разрушение хрупких материалов.
8. Разрушение упругими напряжениями. Разрушение остаточными напряжениями. Химические механизмы разрушения.
9. Высокотемпературные механизмы с участием испарения.
10. Поляритонный механизм формирования лазерно-индуцированного поверхностного рельефа.
11. Лазерное испарение. Кинетика испарения плоской поверхности.

#### **Примерные темы курсовых работ**

1. Механическое воздействие света.
2. Возбуждение высших гармоник.
3. Нелинейная рефракция.
4. Сверхизлучение в атомной системе.
5. Самоиндуцированная прозрачность.
6. Лазерная абляция.
7. Исследование механизмов оптического охлаждения атомов в ловушках.
8. Исследование механизмов генерации сверхсильных световых полей и их взаимодействия с веществом.
9. Оптический пробой
10. Взаимодействие лазерного излучения с плазмой. Лазерный термоядерный синтез.
11. Вынужденное рассеяние света.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная литература:

1. Введение в фемтонанопонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов / С. М. Аракелян [и др.] ; под общ. ред. С. М. Аракеляна .— Москва : Логос, 2015. — 743 с. Библиотека ВлГУ

2. Либенсон, М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть I. Поглощение лазерного излучения в твердых телах [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина ; под ред. В. П. Вейко. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2015. — 130 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65819.html>

3. Поляков, Д. С. Методические рекомендации по выполнению практических заданий по курсу «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» (Часть 1. Поглощение излучения в твердых телах) [Электронный ресурс] / Д. С. Поляков, Г. Д. Шандыбина, Е. Б. Яковлев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2016. — 84 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67265.html>

### б) дополнительная литература:

1. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях/ Тучин В.В. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.— 501 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112789.html>

2. Либенсон, М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть II. Лазерный нагрев и разрушение материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина ; под ред. В. П. Вейко. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2014. — 181 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65820.html>

### в) Периодические издания:

1. Журнал «Успехи физических наук». Архив номеров. Режим доступа: <http://ufn.ru/ru/articles/>

2. Журнал «Квантовая электроника». Архив номеров. Режим доступа: <http://www.quantum-electron.ru/pa.phtml?page=onlcont>

### г) Интернет-ресурсы:

1. [www.quantum-electron.ru](http://www.quantum-electron.ru)

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Применение мультимедийных презентаций и компьютерных симуляций обеспечивается проведением занятий в оборудованных мультимедийным оборудованием аудиториях кафедры ФиПМ.

Для обеспечения проведения лабораторных работ и практических занятий имеются компьютерные классы кафедры ФиПМ и специализированные учебно-научные лаборатории лазерной стереолитографии (лаб. 123-3) и лазерной техники и лазерных технологий (лаб. 107-3).



Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Рабочую программу составили: с.н.с. каф. ФиПМ И.Ю.Честнов



Рецензент

(представитель работодателя)



(место работы, должность, ФИО, подпись)

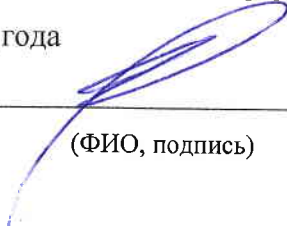
И.Ю.Честнов - 2 ФРКТ "ГАП Рязань"



Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол № 1 от 03.09.17 года

Заведующий кафедрой



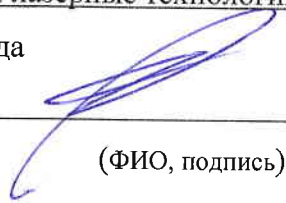
Аракелян С.М.

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Протокол № 1 от 03.09.17 года

Председатель комиссии



Аракелян С.М.

(ФИО, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_