

**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)**

Институт прикладной математики, физики и информатики

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института



\_\_\_\_\_ К.С. Хорьков

\_\_\_\_\_ 08 \_\_\_\_\_ 2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ**

**направление подготовки / специальность**

\_\_\_\_\_ 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии  
 (код и наименование направления подготовки (специальности))

**направленность (профиль) подготовки**

\_\_\_\_\_ Лазерные и квантовые технологии  
 (направленность (профиль) подготовки))

г. Владимир

2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью 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.

Задачи:

- изучение физических процессов, происходящих при воздействии лазерного излучения различного типа;
- установить понимание взаимосвязи между физическими характеристиками взаимодействия лазерного излучения с веществом с конечными параметрами физических и технологических процессов, в которых реализуются данные явления;
- получение знаний о последних достижениях в области обработки материалов лазерным излучением.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» относится к обязательным учебному плану.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)  | Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции  |  | Наименование оценочного средства   |
|--|---|--|--|
|  | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)   | Результаты обучения по дисциплине  |  |
| ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием, конструированием и технологиями производства лазерной техники | ОПК-1.1. Знает основные законы естественных наук, методы математического анализа и моделирования, основные законы и методы общеинженерных дисциплин, основные принципы разработки и производства элементов и устройств лазерной техники, основную номенклатуру лазерной техники, особенности ее конструкции, технологии производства, а также условия и методы их эксплуатации.<br>ОПК-1.2. Умеет применять естественнонаучные и инженерные знания для проектирования, конструирования и производства лазерной техники.<br>ОПК-1.3. Владеет методами расчетов и проектирования, а также компьютерными системами, используемыми при моделировании и проектировании лазерных установок, комплексов, систем и лазерных технологий. | Знает: <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные законы естественных наук;</li> <li>• основные принципы разработки и производства элементов и устройств лазерной техники, лазерных технологических установок, а также оптических материалов и элементов;</li> <li>• основную номенклатуру лазерной техники, особенности ее конструкции, технологии производства, а также условия и методы их эксплуатации.</li> </ul> Умеет: <ul style="list-style-type: none"> <li>• применять естественнонаучные и инженерные знания для проектирования, конструирования и производства лазерной техники.</li> </ul> Владеет: <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами расчетов и проектирования лазерных установок, комплексов, систем и лазерных технологий.</li> </ul> | Отчёты по лабораторным работам.<br><br>Контрольные вопросы к лабораторным работам.<br><br>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации. |
| ОПК-3. Способен проводить экспериментальные исследования и измерения,  | ОПК-3.1. Знает физические основы и принципы функционирования оптических квантовых генераторов, методы и средства лазерных измерений.  | Знает: <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные законы естественно-научных дисциплин для процессов, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с веществом;</li> </ul>  | Отчёты по лабораторным работам.<br><br>Контрольные   |

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| <p>обрабатывать и представлять полученные данные с учётом специфики методов и средств лазерных исследований и измерений</p>   | <p>принципы организации и проведения экспериментальных исследований.<br/>ОПК-3.2. Умеет проводить расчет лазерных резонаторов, систем фокусировки и согласования лазерного излучения, оценивать параметры выходного излучения, использовать лазерные контрольно-измерительные приборы для решения задач лазерной техники и лазерных технологий, анализировать функциональные и принципиальные схемы оптических контрольно-измерительных устройств, работать на основных измерительных оптических приборах, составлять схемы для проведения экспериментальных исследований, обрабатывать, анализировать, представлять и оформлять результаты экспериментальных исследований.<br/>ОПК-3.3. Владеет навыками работы со средствами лазерных измерений, типовыми методиками выполнения лазерных измерений, обработки данных наблюдений и оценки погрешностей, методами и средствами измерения, поверки и контроля с использованием информационных систем.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования процессов, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с веществом.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать лазерные контрольно-измерительные приборы для решения задач лазерной техники и лазерных технологий при взаимодействии лазерного излучения с веществом;</li> <li>• работать на основных измерительных оптических приборах;</li> <li>• составлять схемы для проведения экспериментальных исследований процессов, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с веществом;</li> <li>• обрабатывать, анализировать, представлять и оформлять результаты экспериментальных исследований.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками работы со средствами лазерных измерений;</li> <li>• типовыми методиками выполнения лазерных измерений и исследований процессов, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с веществом;</li> <li>• навыками обработки данных наблюдений и оценки погрешностей,</li> <li>• методами и средствами измерения, поверки и контроля с использованием информационных систем.</li> </ul> | <p>вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p>  |
| <p>ПК-1. Способен анализировать задачи по проектированию типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных опико-электронных приборов и систем</p> | <p>ПК-1.1. Знает принципы генерации излучения лазерами, элементную базу лазерной техники, основные типы и характеристики оптических систем лазерных опико-электронных приборов и оборудования, принципы конструирования лазерных опико-электронных приборов, их узлов и элементов, опасные и вредные эксплуатационные факторы, их предельно-допустимые уровни воздействия на человека, технику и окружающую среду при эксплуатации лазерных систем и технологий;<br/>ПК-1.2. Умеет определять параметры и характеристики элементов лазерных систем и технологий для заданных условий и режимов эксплуатации, анализировать взаимодействие лазерного излучения с материалами и средами, применять информационные ресурсы и технологии, представлять информацию в систематизированном виде, работать с научно-технической</p>  | <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• принципы генерации излучения лазерами;</li> <li>• элементную базу лазерной техники;</li> <li>• основные типы и характеристики оптических систем лазерных опико-электронных приборов и оборудования;</li> <li>• принципы конструирования лазерных опико-электронных приборов, их узлов и элементов;</li> <li>• опасные и вредные эксплуатационные факторы, их предельно-допустимые уровни воздействия на человека, технику и окружающую среду при эксплуатации лазерных систем и технологий;</li> <li>• методы работы с научно-технической литературой и информацией.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определять параметры и характеристики элементов лазерных систем и технологий для заданных условий и режимов эксплуатации;</li> <li>• анализировать взаимодействие лазерного излучения с материалами и средами;</li> <li>• применять информационные ресурсы и технологии;</li> <li>• представлять информацию в систематизированном виде; работать с научно-технической литературой и информацией.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками работы со средствами</li> </ul>  | <p>Отчёты по лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к лабораторным работам.</p> <p>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации.</p> |

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | литературой и информацией:<br>ПК-1.3. Владеет навыками работы со средствами компьютерного проектирования, используемыми при проектировании узлов и блоков лазерных комплексов, навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем.   | компьютерного проектирования, используемых при конструировании узлов и блоков лазерных комплексов;<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем.</li> </ul>   |  |
| ПК-2. Способен участвовать в разработке технических требований и заданий на проектирование типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем | ПК-2.1. Знает основные области применения лазерной техники и лазерных технологий, состав и принципы конструирования лазерных приборов и систем, оптические материалы и технологии.<br>ПК-2.2. Умеет анализировать, формулировать и обосновывать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым оптическим узлам и элементам лазерных приборов и систем, обосновывать предлагаемые технические решения, применять информационные ресурсы и технологии;<br>ПК-2.3. Владеет навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем.  | Знает:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• основные области применения лазерной техники и лазерных технологий;</li> <li>• принципы построения и состав лазерных приборов и систем;</li> <li>• принципы конструирования лазерных оптико-электронных приборов, их узлов и элементов;</li> <li>• оптические материалы и технологии;</li> <li>• опасные и вредные эксплуатационные факторы, их предельно-допустимые уровни воздействия на человека, технику и окружающую среду при эксплуатации лазерных систем и технологий;</li> <li>• методы работы с научно-технической литературой и информацией.</li> </ul> Умеет:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• анализировать технические требования, предъявляемые к разрабатываемым оптическим узлам и элементам лазерных приборов и систем;</li> <li>• определять, формулировать и обосновывать требования к разрабатываемым узлам и элементам лазерных приборов и систем;</li> <li>• обосновывать предлагаемые технические решения при проектировании узлов и элементов лазерных приборов и систем;</li> <li>• применять информационные ресурсы и технологии.</li> </ul> Владеет:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей лазерной техники, лазерных оптико-электронных приборов и систем.</li> </ul> | Отчёты по лабораторным работам.<br><br>Контрольные вопросы к лабораторным работам.<br><br>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации. |
| ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы в области лазерных и квантовых технологий   | ПК-4.1. Знает методы и средства планирования и организации исследований и разработок в области лазерных и квантовых технологий, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации.<br>ПК-4.2. Умеет находить аналитические решения задач квантовой теории, применять нормативную документацию, связанную с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, применять методы проведения экспериментов.<br>ПК-4.3. Владеет методами организации и проведения измерений и исследований в | Знает:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• методы и средства планирования и организации исследований и разработок;</li> <li>• методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации;</li> <li>• методы организации труда и управления персоналом;</li> <li>• теоретические основы лазерных и квантовых технологий, методические и организационные аспекты осуществления научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности в профессиональной деятельности;</li> <li>• основы конструирования лазерных систем, а также же применение квантовых технологий.</li> </ul> Умеет:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• находить аналитические решения задач квантовой теории;</li> <li>• практически применять теоретические знания при решении физических задач;</li> <li>• проводить научно-исследовательские и</li> </ul>  | Отчёты по лабораторным работам.<br><br>Контрольные вопросы к лабораторным работам.<br><br>Контрольные вопросы к рейтинг-контролю и промежуточной аттестации. |

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | области лазерных и квантовых технологий, включая планирование, разработку, организацию и проведение исследований, навыками применения математического аппарата для решения типовых задач квантовой механики, составления отчётов (разделов отчётов) по теме или по результатам проведённых экспериментов. | опытно-конструкторские разработки в сфере лазерных и квантовых технологий.<br>Владеет:<br>• методами организации и проведения измерений и исследований в области лазерных и квантовых технологий, включая планирование, разработку, организацию и проведение исследований. |  |
|--|---|--|--|

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

##### Тематический план форма обучения – очная

| № п/п                      | Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины                              | Семестр | Неделя семестра | Контактная работа обучающихся с педагогическим работником |                      |                     |                                 | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|----------------------------|---|---------|-----------------|---|----------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------|---|
|                            |   |         |                 | Лекции  | Практические занятия | Лабораторные работы | в форме практической подготовки |                        |   |
| 1                          | Введение в дисциплину   | 7       | 1               | 2   | 2                    | 4                   | 2                               | 5                      | рейтинг-контроль №1   |
| 2                          | Механизмы поглощения и диссипации энергии в металлах и веществе             | 7       | 2-7             | 6   | 6                    | 12                  | 6                               | 19                     |   |
| 3                          | Процессы, протекающие при нагревании материалов лазерным излучением         | 7       | 8-9             | 2   | 2                    | 4                   | 2                               | 19                     |   |
| 4                          | Нелинейные эффекты воздействия интенсивного лазерного излучения на вещество | 7       | 10-15           | 6   | 6                    | 12                  | 6                               | 19                     |   |
| 5                          | Физические механизмы лазерных технологий                                    | 7       | 16-18           | 2   | 2                    | 4                   | 2                               | 19                     | рейтинг-контроль №3   |
| Всего за 7 семестр:        |   | –       | –               | 18  | 18                   | 36                  | 18                              | 81                     | экзамен, 27   |
| Наличие в дисциплине КП/КР |   | –       | –               | –   | –                    | –                   | –                               | –                      | –   |
| Итого по дисциплине        |   | –       | –               | 18  | 18                   | 36                  | 18                              | 81                     | экзамен, 27   |

##### Содержание лекционных занятий по дисциплине

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

1) Излучение и вещество: Связь дисциплины с другими предметными областями. Основные направления существующих и перспективных исследований.

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

1) Воздействие лазерного излучения на атомы и молекулы: Объемные и планарные оптические волноводы. Волноводные структуры в объемных образцах.

2) 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.

3) 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.**

1) 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.**

1) Основные эффекты нелинейной оптики: Основные уравнения нелинейной оптики. Нелинейный осциллятор. Осциллятор с кубичной нелинейностью. Зависимость частоты колебаний от амплитуды. Самовоздействие света в нелинейной среде. Самофокусировка

2) Нелинейные эффекты в газовых средах: Многофотонное возбуждение. Нелинейная ионизация. Явление самоиндуцируемой прозрачности.

3) 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.**

1) Технологические лазеры и лазерное излучение: Оптические схемы лазерной обработки. Лазерная микрообработка материалов. Лазерное термоупрочнение и сварка. Лазерная резка.

## **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

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

1) Техника безопасности при работе с лазерным оборудованием.

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

1) Изучение работы лазерных комплексов, имеющихся на базе кафедры.

2) Определение основных параметров лазерного излучения при воздействии на материалы.

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

1) Воздействие непрерывного и импульсного лазерного излучения на поверхности различных металлов. Оценка температуры поверхности.

2) Исследование поверхности при воздействии лазерного излучения.

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

1) Тепловое воздействие лазерного излучения на жидкие среды.

2) Исследование оптического пробоя в прозрачных средах.

3) Исследование филаментации фемтосекундного лазерного излучения.

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

1) Взаимодействие лазерного излучения с веществом и наблюдение за поверхностью в режиме реального времени.

## **Содержание практических занятий по дисциплине**

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

1) Расчет параметров лазерного излучения для безопасной работы с лазерным оборудованием.

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

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.

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

1) Нагрев материала лазерным излучением. Лазерное испарение. Разрушение поглощающего материала.

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

1) Оптический пробой газов при воздействии лазерного излучения.

2) Расчет критической мощности самофокусировки лазерного излучения.

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

1) Воздействие ультракоротких лазерных импульсов на вещество.

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

### **5.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **Примерный перечень вопросов 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.

#### **Примерный перечень вопросов 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.

#### **Примерный перечень вопросов 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.

#### **5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).**

##### **Примерный перечень 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.

#### **5.3. Самостоятельная работа обучающегося.**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» включает в себя следующие виды деятельности:

- 1) Аудиторная самостоятельная работа студента по дисциплине выполняется на лабораторных и практических занятиях при решении задач.

2) Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом при углубленном изучении дисциплины по теме пройденной лекции, при подготовке к лабораторным работам и практическим занятиям. Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, рекомендованной литературы.

Основным источником информации для выполнения самостоятельной работы являются справочные подсистемы и официальные сайты программных пакетов, изучаемых в рамках дисциплины. В ходе самостоятельной работы студенты должны познакомиться с содержанием соответствующих ресурсов, имеющим отношение к рассматриваемым на лекциях вопросам, к заданиям лабораторных работ и к вопросам для самостоятельной работы. При этом рекомендуется самостоятельно проанализировать и частично реализовать примеры, данные в справочных материалах.

Самостоятельная работа завершает задачи всех других видов учебного процесса и может осуществляться на лекциях, семинарах, практических занятиях, лабораторных занятиях, консультациях. Как форма организации учебного процесса самостоятельная работа студентов представляет собой целенаправленную систематическую деятельность по приобретению знаний, осуществляемую вне аудитории.

Контроль выполнения самостоятельной работы осуществляется в ходе выполнения и защиты лабораторных работ по дисциплине, при выполнении практических заданий, на экзамене.

### 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.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

| Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство   | Год издания | КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ   |
|---|-------------|---|
|   |             | Наличие в электронном каталоге ЭБС  |
| Основная литература   |             |   |
| 1. Либенсон, М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть I. Поглощение лазерного излучения в твердых телах: учебное пособие / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина; под редакцией В. П. Вейко. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. – 130 с. | 2015        | <a href="https://www.iprb-bookshop.ru/65819">https://www.iprb-bookshop.ru/65819</a> |
| 2. Либенсон, М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая  | 2014        | <a href="https://www.iprb">https://www.iprb</a>                                     |

|   |      |   |
|---|------|---|
| оптика). Часть II. Лазерный нагрев и разрушение материалов: учебное пособие / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина; под редакцией В. П. Вейко. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2014. – 181 с.  |      | ookshop.ru/65820                            |
| 3. Введение в фемтонанопонику: фундаментальные основы и лазерные методы управляемого получения и диагностики наноструктурированных материалов: учебное пособие / С. М. Аракелян, А. О. Кучерик, В. Г. Прокошев [и др.]; под общ. ред. С. М. Аракеляна. – Москва: Логос, 2020. – 744 с. – ISBN 978-5-98704-812-2             | 2020 | https://znanium.com/catalog/product/1211606 |
| 4. Моделирование взаимодействия излучения с веществом в задачах лазерной оптики: учебное пособие / В. Ю. Храмов, В. В. Назаров, А. Е. Пушкарева [и др.]. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2010. – 111 с.  | 2010 | https://www.iprb ookshop.ru/67304           |
| <b>Дополнительная литература</b>  |      |   |
| 1. Пахомов, И. И. Квантовая теория излучения. Взаимодействие излучения с веществом: учебное пособие / И. И. Пахомов, А. М. Хорохоров. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2010. – 36 с.  | 2010 | https://www.iprb ookshop.ru/31423           |
| 2. Локтионов, Е. Ю. Измерение порога оптического пробоя прозрачных диэлектриков под действием импульсов лазерного излучения: учебно-методическое пособие / Е. Ю. Локтионов, В. Д. Телех. – 2-е изд. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2019. – 24 с. – ISBN 978-5-7038-5118-0 | 2019 | https://www.iprb ookshop.ru/110623          |
| 3. Астапенко, В. А. Взаимодействие излучения с атомами и наночастицами: учебное пособие / В. А. Астапенко. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 495 с. – ISBN 978-5-91559-083-9  | 2010 | https://www.iprb ookshop.ru/103459          |

## 6.2. Периодические издания

1. Журнал «Квантовая электроника». ISSN:1063-7818. Архив номеров. Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/qe/archive>.
2. Журнал «Фотоника», ISSN:1993-7296. Архив номеров. Режим доступа: <http://www.photonics.su>.
3. Журнал «Прикладная фотоника», ISSN:2411-4375. Архив номеров. Режим доступа: <http://applied.photonics.pstu.ru/archives>.
4. Журнал «Успехи физических наук». ISSN:1996-6652. Архив номеров. Режим доступа: <http://ufn.ru/ru/articles/>
5. Журнал «Наносистемы: физика, химия, математика». ISSN:2305-7971. Архив номеров. Режим доступа: <http://nanojournal.ifmo.ru/articles>.

## 6.3. Интернет-ресурсы

1. Раздел «Новости фотоники» на сайте Лазерной ассоциации // Режим доступа: <http://www.cislaser.com>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий. Лекционные аудитории оснащены доской (для мела или маркера), экраном для проекционных систем, проектором, ноутбуком.

Практические и лабораторные работы проводятся в научных и учебных лабораториях 104-3, 106-3, 107-3, 123-3, 118-4, где размещены: волоконный лазер непрерывного излучения, миллисекундная лазерная установка, комплекс лазерной гравировки, лазерный проекционный микроскоп, фемтосекундные лазерные системы, сварщик оптических волокон, оптомеханические устройства и др.

Аудитории для проведения занятий оснащены современными персональными компьютерами, объединенными в локальную вычислительную сеть и укомплектованы необходимым системным и прикладным программным обеспечением.

Рабочую программу составил дир. ИПМФИ Хорьков К.С.

(ФИО, должность, подпись)

Рецензент

Генеральный директор ООО «ВладИнТех»

А.В. Осипов

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФиПМ

Протокол №1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 12.03.05

Протокол №1 от 30.08.2021 года

Председатель комиссии

С.М. Аракелян

(ФИО, должность, подпись)

### ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 30.08.2021 года

Заведующий кафедрой

С.М. Аракелян

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_ / 20 \_\_\_ учебный года

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

Заведующий кафедрой

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_ / 20 \_\_\_ учебный года

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

Заведующий кафедрой