



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

«СОГЛАСОВАНО»<sup>1</sup>  
Руководитель ОП

Кульчин Ю.Н.  
(подпись) (Ф.И.О. рук. ОП)  
« 31 » августа 2021г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий Базовой кафедрой  
«Фотоника и цифровые лазерные технологии»  
(название кафедры)

Кульчин Ю.Н.  
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)  
« 31 » августа 2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Взаимодействие лазерного излучения с веществом

**Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение**

Магистерская программа «Цифровые лазерные технологии, оптоволоконные сети»

**Форма подготовки очная**

курс 1 семестр 2  
лекции 18 час.  
практические занятия 36 час.  
лабораторные работы 0 час.  
в том числе с использованием МАО лек. \_\_\_\_\_ / пр. \_\_\_\_\_ / лаб. \_\_\_\_\_ час.  
всего часов аудиторной нагрузки 54 час.  
в том числе с использованием МАО \_\_\_\_\_ час.  
самостоятельная работа 54 час.  
в том числе на подготовку к экзамену \_\_\_\_\_ - час.  
контрольные работы (количество) 2  
курсовая работа / курсовой проект \_\_\_\_\_ - семестр  
зачет 2 семестр  
экзамен \_\_\_\_\_ - семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 22 сентября 2017 г № 957 / образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Рабочая программа обсуждена на заседании Базовой кафедры Фотоники и цифровых лазерных технологий ПИ ДВФУ протокол № 12 от « 31 » августа 2021 г.

Заведующий кафедрой академик РАН Кульчин Ю.Н.  
Составитель (ли): к.ф.-м.н., доцент Голик С.С.

<sup>1</sup> кроме РПД общеуниверситетских дисциплин

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Ю.Н. Кульчин  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Ю.Н. Кульчин  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Взаимодействие лазерного излучения с веществом»**

Дисциплина разработана для студентов, обучающихся по направлению подготовки 12.04.01 «Приборостроение», магистерская программа «Цифровые лазерные технологии, оптоволоконные сети», в соответствии с требованиями ФГОС ВО 3++, входит в Блок 1 Дисциплины (модули) учебного плана, в часть ОПОП, формируемую участниками образовательных отношений, и является обязательной дисциплиной (Б1.В.09).

Дисциплина «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» опирается на такие дисциплины, как общая физика, теоретическая физика, прикладная оптика, электродинамика, высшая математика. Актуальность изучения учебной дисциплины определяется необходимостью детального знакомства с процессами взаимодействия лазерного излучения с оптически прозрачными и непрозрачными средами, процессами поглощения, рассеяния света и нелинейно-оптических явлений для решения различных задач научного и прикладного назначения. В курсе «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» рассматриваются основные представления о процессах взаимодействия лазерного излучения с атомами и молекулами, газами, прозрачными и непрозрачными конденсированными средами, аппаратные средства и методы изучения данных процессов. Особое внимание уделено наиболее важным физическим явлениям, специфичным для взаимодействия лазерного излучения.

**Цель курса:** получение обучающимися основополагающих представлений о процессах взаимодействия лазерного излучения с веществом, различных подходов к описанию этих процессов, формирование систематизированных теоретических знаний и практических навыков, необходимых для специалистов в области лазерной физики и лазерных технологий.

**Задачи дисциплины:**

- изучение физических процессов взаимодействия излучения с веществом;
- формирование навыков применения теоретических знаний для решения физических и технических задач.

Для успешного изучения дисциплины «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» у студентов должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.

УК-6 Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки.

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие профессиональные компетенции:

Задача профессиональной деятельности	Объекты или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Основание (ПС, анализ иных требований, предъявляемых к выпускникам)
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
Научные исследования в области оптического приборостроения, оптических материалов и технологий Научные исследования в области приборостроения, конструкционных материалов и технологий	физические явления преобразования энергии и информации, волновые поля (геометрический и интерференционный подход), дифракционные, поляризационные и другие, включая корпускулярные, эффекты; электронно-механические, магнитные, электромагнитные, оптические, теп-	ПК-3 - способность провести экспериментальные исследования, измерения по заданным методикам с выбором технических средств и обработкой результатов	ПК-3.1. – знает методы и средства планирования и организации исследований и разработок, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации.  ПК-3.2. - умеет грамотно проводить измерения различных параметров лазерного излучения.	29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства опtotехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов Анализ опыта

	лофизические, акустические, акустооптические, радиационные и другие методы контроля и измерений;			
--	--	--	--	--

Код индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)	
<b>ПК-3.1</b>	знает	основные направления физики взаимодействия лазерного излучения с веществом, теорию и аппаратные средства используемые при исследованиях взаимодействия лазерного излучения с веществом
	умеет	применять теоретические знания к решению практических и научных задач, сформулировать и решить задачу в области приборостроения и физики взаимодействия лазерного излучения с веществом
	владеет	самостоятельной работой с учебной и научной литературой, использованием базовых теоретических и практических знаний в области взаимодействия лазерного излучения с веществом при решении поставленных задач
<b>ПК-3.2</b>	знает	явления взаимодействия лазерного излучения с объектами, рассеивающей средой; технические средства, способы и методики определения и регистрации параметров взаимодействия лазерного излучения с веществом
	умеет	определять и оценивать параметры и характеристики взаимодействия лазерного излучения с веществом
	владеет	методами обработки и интерпретации измеряемой информации относительно определяемых параметров исследуемых сред, объектов

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине могут являться:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
ПЗ	Практические занятия
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 часов (3 зачётные единицы) для Блока 1. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (18 часов), практические занятия (36 часов) и самостоятельная работа студента (54 часа). Дисциплина реализуется на 1 курсе в 2 семестре. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

#### Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося						Формы промежуточной аттестации, текущего контроля успеваемости
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Контроль	
1	Взаимодействие лазерного излучения с веществом	3	18	0	36	0	27	27	экзамен
	Итого:		18	0	36	0	27	27	108

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: обсуждение в группах, решение задач с обсуждением.

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Раздел I. Лазерное излучение и вещество (4 час.)

**Тема 1.** Свойства лазерного излучения. Взаимодействие лазерного излучения с прозрачными средами (2 час.)

Лазерное излучение. Вещество. Свойства лазерного излучения. Взаимодействие на атомном уровне. Взаимодействие лазерного излучения с прозрачными и не прозрачными средами.

## **Тема 2 Уравнения Максвелла (2 час.)**

Решение уравнений Максвелла для непоглощающего диэлектрика. Свойства электромагнитной волны. Энергия электромагнитной волны Давление света. Закон Снеллиуса.

## **Раздел II. Поглощение излучения металлами и полупроводниками (4 час.)**

**Тема 1.** Распространение электромагнитных волн в проводящих средах. Основные уравнения оптики металлов. Скин-эффект и его свойства. (2 час.)

**Тема 2.** Поглощение света и передача энергии в полупроводниках. Оптические процессы в поглощающих полупроводниках. Особенности собственного поглощения, кинетика фотовозбуждения полупроводников лазерным излучением (2 час.)

## **Раздел III. Поверхностные электромагнитные волны (ПЭВ) оптического диапазона (2 час.)**

**Тема 1.** Основные свойства ПЭВ, структура и распределение полей, условия существования, дисперсионное соотношение (1 час.)

**Тема 2.** Поверхностные плазмон-поляритоны на границе металла с диэлектриком Методы возбуждения ПЭВ (1 час.)

## **Раздел IV. Лазерный пробой (4 час.)**

**Тема 1.** Пробой газов под действием лазерного излучения (2 час.)

Открытие оптического пробоя. Порог пробоя. Многофотонная ионизация. Лавинная ударная ионизация. Зависимость порога пробоя от давления. Зависимость порога пробоя от длительности лазерного импульса.

**Тема 2.** Оптический пробой на поверхности твердых тел и жидких сред (2 час.)

Характеристики поверхностного и объемного пробоя. Взрывное вскипание жидких сред. Применение оптического пробоя. Лазерная спектроскопия, диагностика плазмы. Лазерная обработка материалов, лазерный пробой в офтальмологии.

## **Раздел V. Спонтанное и вынужденное рассеяние света, лазерная флуоресценция (2 час.)**

**Тема 1.** Спонтанное и вынужденное рассеяние света (1 час.)

Комбинационное, релеевское, рассеяние Мандельштама-Бриллюена. Спектроскопия комбинационного рассеяния света. Понятие стоксовой и антистоксовой части спектра комбинационного рассеяния. Приборы для регистрации спектров комбинационного рассеяния. Вынужденное рассеяние,

связь стоксовой и антистоксовой волн. Обращение волнового фронта при рассеянии.

**Тема 2. Лазерная флуоресценция. (1 час)**

Лазерно-индуцированная флуоресценция. Кинетика флуоресценции. Стоксов сдвиг. Правило зеркальной симметрии. Приборы для регистрации спектров флуоресценции.

**Раздел VI. Взаимодействие интенсивного лазерного излучения с веществом. Переход от линейной оптики к нелинейной (2 час.)**

**Тема 1. Фазовая самомодуляция и элементарная теория спектрального уширения сверхкоротких лазерных импульсов (1 час.)**

Открытие и начальный этап исследования генерации суперконтинуума, фазовая самомодуляция и элементарная теория спектрального уширения сверхкоротких лазерных импульсов, самофокусировка и филаментация лазерного излучения.

**Тема 2. Генерация второй гармоники (1 час.)**

Генерация второй гармоники. Интенсивность излучения второй гармоники. Нелинейные материалы.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (36 час.)**

**Занятие 1. Взаимодействие лазерного излучения с металлами (4 час.)**

1. Механизм поглощения света в металлах. Решение задач с обсуждением.
2. Поглощательная способность металлов. Решение задач с обсуждением.

**Задание 1.** Получите выражения для поглощательной способности металлов в различных спектральных диапазонах: а)  $\omega < \gamma$  ; б)  $\gamma < \omega$  и оцените ее значение при  $\lambda = 10,6$  мкм,  $\lambda = 1,06$  мкм,  $\gamma = 10^{13}-10^{14} \text{ с}^{-1}$ ,  $\omega_p = 10^{16} \text{ с}^{-1}$ .

**Занятие 2. Взаимодействие лазерного излучения с полупроводниками. (2 час.)**

1. Кинетика лазерного возбуждения полупроводников. Решение задач с обсуждением.

**Задание 2.** Определите распределение стационарной концентрации неравновесных носителей в фотовозбужденном полупроводнике с учетом ударной рекомбинации. Оцените ее значение на поверхности для  $J=10^{24} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ .



**Занятие 3. Лазерная активация процессов аррениусовского типа (2 час.)**

1. Лазерное окисление. Решение задач с обсуждением.

**Задание 3.** Количественно оцените влияние формы импульса на лазерное окисление титана, если  $V = 330 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ ;  $T_a = 3,3 \cdot 10^4 \text{ К}$ ;  $T_H = 300 \text{ К}$ ;  $T_M = 1500 \text{ К}$ ; (в прямоугольном импульсе);  $\tau = 100 \text{ мкс}$ .

**Занятие 4. Локализованные электромагнитные возбуждения (2 час.)**

1. Условия возбуждения поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ). Решение задач с обсуждением.

**Задание 4.** Получите дисперсионные соотношения для возбуждения ПЭВ на границе металл/воздух и посчитайте величины волнового вектора ПЭВ  $k_s$  и коэффициентов затухания поверхностной электромагнитной волны в средах  $k_1$  и  $k_2$  для  $\omega = 10^{14} \text{ Гц}$ ,  $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$ ,  $\epsilon_1 = 1$ ,  $\epsilon_2 = -4$ .

**Занятие 5. Взаимодействие мощного лазерного излучения с поверхностью твердого тела (8 час.)**

1. Обсуждение в группах. Генерация ударных волн при взаимодействии мощного лазерного излучения с твердыми мишенями.
2. Обсуждение в группах. Лазерная абляция и синтез функциональных материалов. Лазерная обработка материалов. Синтез мелкодисперсных порошков и наночастиц.
3. Обсуждение в группах. Взаимодействие лазерного излучения с металлами. Влияние плазмы приповерхностного пробоа на процессы сверления металлов.
4. Обсуждение в группах. Эволюция плазмы, возникающей при лазерном облучении металлической поверхности.

**Занятие 6. Распространение и взаимодействие лазерного излучения с газовыми и жидкими средами (6 час.)**

1. Обсуждение в группах. Распространение лазерного излучения в атмосфере. Лидарное зондирование атмосферы.
2. Обсуждение в группах. Распространение лазерного излучения в жидких средах. Генерация звука лазерным излучением. Экспериментальные исследования характеристик акустических полей, возбуждаемых в воде при взрывном вскипании под действием лазера.

**Занятие 7.** Методы, основанные на селективном воздействии лазерного излучения (6 час.)

1. Обсуждение в группах. Основные методы, основанные на селективном воздействии лазерного излучения, их физические основы, аппаратное оформление, области применения и метрологические характеристики.
2. Обсуждение в группах. Использование излучения ультракоротких лазеров для исследования переходных реакций. Фемтохимия.

**Занятие 8.** Взаимодействие лазерного излучения с биологическими объектами. Допуск к экзамену (6 час.)

1. Обсуждение в группах по теме «Взаимодействие лазерного излучения с биологическими объектами».
2. Допуск к экзамену.

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

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. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65819.html>
2. Либенсон, М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая 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. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65820.html>
3. Поляков Д.С., Шандыбина Г.Д., Яковлев Е.Б. Методические рекомендации по выполнению практических заданий по курсу «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» (Часть 1. Поглощение излучения в твердых телах). –СПб: Университет ИТМО, 2016. – 83 с.
4. Гладуш, Г.Г. Физические основы лазерной обработки материалов : монография / Г.Г. Гладуш, И.Ю. Смуров. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2017. — 592 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105004>
5. Киселев, Г.Л. Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие / Г.Л. Киселев. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 316 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91904> Бутиков, Е.И.
6. Оптика : учебное пособие / Е.И. Бутиков. — 3-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 608 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2764>

### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. Князьков, В. Б. Лазерная хирургия заболеваний глоточного лимфатического кольца / В. Б. Князьков, В. В. Гофман, В. Р. Гофман. — Москва :

- Техносфера, 2016. — 440 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/58858.html>
2. Шахно, Е. А. Лазерные микро- и нанотехнологии : учебно-методическое пособие по практическим работам для студентов / Е. А. Шахно, А. А. Самохвалов. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. — 45 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67248.html>
  3. Пинахин, И. А. Основы объемного импульсного лазерного упрочнения инструментальных и конструкционных материалов : монография / И. А. Пинахин, В. А. Черниговский. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2014. — 160 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63115.html>
  4. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении : учебное пособие / В. П. Вейко, В. Н. Смирнов, А. М. Чирков, Е. А. Шахно. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2013. — 103 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71489.html>
  5. Ковалев, О.Б. Физические основы лазерной резки толстых листовых материалов : монография / О.Б. Ковалев, В.М. Фомин. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 253 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48306>
  6. Привалов, В.Е. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы : учебное пособие / В.Е. Привалов, А.Э. Фотиади, В.Г. Шеманин. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 288 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5851>
  7. Шахно, Е. А. Физические основы применения лазеров в медицине / Е. А. Шахно. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2012. — 129 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65350.html>
  8. Шанин, О. И. Адаптивные оптические системы в импульсных мощных лазерных установках / О. И. Шанин. — Москва : Техносфера, 2012. — 200 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16971.html>
  9. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика) : учебное пособие / В.П. Вейко, М.Н. Либенсон, Г.Г. Червяков, Е.Б. Яковлев ; под редакцией В.И. Конова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 312 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59505>
  10. П.Г.Крюков «Фемтосекундные импульсы», М., Физматлит, 2008.

11.Воронин В. Г., Наний О. Е. Основы нелинейной волоконной оптики.// М.: «Университетская книга», 2011. - 128 с.

## **Нормативно-правовые материалы<sup>2</sup>**

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

*В данном разделе приводится перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины, в виде названия сайта, интернет-портала и т.п. и рабочей гиперссылки. Не допускается размещение ресурсов, содержащих материалы, не соответствующие этическим нормам, в том числе в формате баннеров и т.п.*

<https://www.quantum-electron.ru> – журнал «Квантовая электроника»  
[www.scopus.com](http://www.scopus.com) – наукометрическая база данных Scopus

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

*Указывается перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости). Если для данного курса создан ЭУК в интегрированной платформе электронного обучения Blackboard ДВФУ, это также указывается с приложением идентификатора курса.*

Программное обеспечение: не требуется

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций, практических работ и самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания и изучении прослушанного материала. Для успешного освоения дисциплины рекомендуется изучить основную и дополнительную литературу по данному курсу.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

---

<sup>2</sup> Данный раздел включается при необходимости

Учебная дисциплина обеспечена учебно-методической документацией и материалами. Ее содержание представлено в локальной сети кафедры и находится в режиме свободного доступа для студентов. Доступ студентов для самостоятельной подготовки осуществляется через компьютеры дисплейного класса (в стандартной комплектации).



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом»**

**Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение**

**Магистерская программа «Цифровые лазерные технологии, оптоволоконные  
сети»**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток  
2022**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	2 неделя	Подготовка к практическим занятиям	3 часа	Работа на практических занятиях, ПР-1
2	3 неделя	Подготовка к практическим занятиям	4 часа	Работа на практических занятиях, ПР-1
3	4 неделя	Подготовка к практическим занятиям	2 часа	Работа на практических занятиях, ПР-1
4	5 неделя	Подготовка к практическим занятиям	2 часа	Работа на практических занятиях, ПР-1
5	9 неделя	Подготовка к практическим занятиям	4 часа	Работа на практических занятиях, ПР-1
6	12 неделя	Подготовка к практическим занятиям	4 часа	Работа на практических занятиях, ПР-1
7	15 неделя	Подготовка к практическим занятиям	4 часа	Работа на практических занятиях, ПР-1
8	17 неделя	Подготовка к практическим занятиям	4 часа	Работа на практических занятиях, ПР-1
9	18 неделя	Подготовка к допуску на экзамен	27 часов	Допуск к экзамену, экзамен
		<b>Всего</b>	54	

### Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов состоит из подготовки к практическим занятиям, работы над подготовкой материала к обсуждению в группах и лекционным материалам по выполненным конспектам, выполнения заданий преподавателя, написания докладов, подготовки доклада и презентаций по теме практического занятия.

### Методические указания к самостоятельной работе студентов



№ задания	Тема задания	Содержание задания
Задание 1	Взаимодействие лазерного излучения с металлами.	Ознакомиться с литературой: Либенсон М. Н., Яковлев Е.Б., Шандыбина Г.Д. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть 1. Поглощение лазерного излучения в твердых телах. Под общей ред. В.П. Вейко. Учебное пособие. Издание второе переработанное и дополненное. СПб: Университет ИТМО, 2015. 130 с
Задание 2	Взаимодействие лазерного излучения с полупроводниками	Ознакомиться с литературой: Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика) : учебное пособие / В.П. Вейко, М.Н. Либенсон, Г.Г. Червяков, Е.Б. Яковлев ; под редакцией В.И. Конова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 312 с. — ISBN 978-5-9221-0934-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/59505">https://e.lanbook.com/book/59505</a>
Задание 3	Лазерная активация процессов аррениусовского типа	Ознакомиться с литературой: Поляков Д.С., Шандыбина Г.Д., Яковлев Е.Б. Методические рекомендации по выполнению практических заданий по курсу «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» (Часть 1. Поглощение излучения в твердых телах). –СПб: Университет ИТМО, 2016. – 83 с.
Задание 4	Локализованные электромагнитные возбуждения	Ознакомиться с литературой: Дифракционная нанофотоника: учебное пособие / А.В. Гаврилов, Д.Л. Головашкин, Л.Л. Досколович, П.Н. Дьяченко ; под редакцией В.А.Сойфера. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 680 с. — ISBN 978-5-9221-1237-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/5296">https://e.lanbook.com/book/5296</a>
Задание 5	Взаимодействие мощного лазерного излучения с поверхностью твердого тела	Подготовка материала к обсуждению в группах по темам Занятия 5. Провести поиск статей в журнале «Квантовая электроника» и базе данных Scopus по данным темам. <a href="https://www.quantum-electron.ru">https://www.quantum-electron.ru</a> <a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a>
Задание 6	Распространение и взаимодействие лазерного излучения с газовыми	Подготовка материала к обсуждению в группах по темам Занятия 6. Провести поиск статей в журнале «Квантовая электроника» и базе данных Scopus по данным темам.

	и жидкими средами.	<a href="https://www.quantum-electron.ru">https://www.quantum-electron.ru</a> <a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a>
Задание 7	Методы, основанные на селективном воздействии лазерного излучения	Подготовка материала к обсуждению в группах по темам Занятия 7. Провести поиск статей в журнале «Квантовая электроника» и базе данных Scopus по данным темам. <a href="https://www.quantum-electron.ru">https://www.quantum-electron.ru</a> <a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a>
Задание 8	Взаимодействие лазерного излучения с биологическими объектами	Подготовка материала к обсуждению в группах по темам Занятия 8. Провести поиск статей в журнале «Квантовая электроника» и базе данных Scopus по данным темам. <a href="https://www.quantum-electron.ru">https://www.quantum-electron.ru</a> <a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a>



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом»**  
Магистерская программа «Цифровые лазерные технологии, оптоволоконные  
сети»  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2022**

## Паспорт ФОС

Для успешного изучения дисциплины «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» у студентов должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий

УК-6 Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции:

Код и формулировка компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
<b>ПК-3.</b> Способность провести экспериментальные исследования, измерения по заданным методикам с выбором технических средств и обработкой результатов	<b>ПК-3.1.</b> Знает методы и средства планирования и организации исследований и разработок, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации.
	<b>ПК-3.2.</b> Умеет грамотно проводить измерения различных параметров лазерного излучения.

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Лазерное излучение и вещество	<b>ПК-1</b> <b>ПК-3</b>	знает	Контрольная работа – КР1	Экзамен, Вопросы 1-5
			умеет	КР-1	
			владеет	Работа на практических занятиях -ПР1	
2	Раздел II. Поглощение излучения металлами и полупроводниками	<b>ПК-1</b> <b>ПК-3</b>	знает	КР-1	Экзамен, Вопросы 6-9
			умеет	КР-1	
			владеет	Работа на практических занятиях -ПР1	
3	Раздел III. Поверхност-	<b>ПК-1</b> <b>ПК-3</b>	знает	КР-1	Экзамен, Вопросы 10-12
			умеет	КР-1	

	ные электромагнитные волны (ПЭВ) оптического диапазона .		владеет	Работа на практических занятиях -ПР1	
4	Раздел IV. Лазерный пробой	ПК-1 ПК-3	знает	КР-2	Экзамен, Вопросы 13-16
			умеет	КР-2	
			владеет	Работа на практических занятиях -ПР1	
5	Раздел V. Спонтанное и вынужденное рассеяние света, лазерная флуоресценция	ПК-1 ПК-3	знает	КР-2	Экзамен, Вопросы 17-21
			умеет	КР-2	
			владеет	Работа на практических занятиях -ПР1	
6	Раздел VI. Взаимодействие интенсивного лазерного излучения с веществом. Переход от линейной оптики к нелинейной	ПК-1 ПК-3	знает	КР-2	Экзамен, Вопросы 23-27
			умеет	КР-2	
			владеет	Работа на практических занятиях -ПР1	

УО-1 – собеседование; ПР-2 – контрольная работа (см. Положение о фондах оценочных средств образовательных программ высшего образования – программ бакалавриата, специалитета, магистратуры ДВФУ №12-13-850 от 12.05.2015)

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)		Критерии	Показатели
ПК-3.1	знает (пороговый уровень)	основные направления физики взаимодействия лазерного излучения с веществом, теорию и	знание основных физических процессов, используемых для управления оптическими сигнала-	способность перечислить основные направления физики взаимодействия лазерного излучения с веществ-

		аппаратные средства используемые при исследованиях взаимодействия лазерного излучения с веществом.	ми; знание основных методов и устройств управления излучением; знание особенностей применения различных методов управления излучением в лазерной технике, оптических линиях связи, приборах интегральной оптики и волоконно-оптических датчиках.	вом, используемые теоретические и аппаратные средства при исследованиях взаимодействия лазерного излучения с веществом.
	умеет (продвинутый)	применять теоретические знания к решению практических и научных задач, сформулировать и решить задачу в области приборостроения и физики взаимодействия лазерного излучения с веществом	умение применять теоретические знания к решению практических и научных задач, сформулировать и решить задачу в области приборостроения и физики взаимодействия лазерного излучения с веществом	способность применять теоретические знания к решению практических и научных задач, делать анализ и найти решение поставленной задачи исследований в области взаимодействия лазерного излучения с веществом
	владеет (высокий)	самостоятельной работой с учебной и научной литературой, использованием базовых теоретических и практических знаний в области взаимодействия лазерного излучения с веществом при решении поставленных задач.	владение навыками самостоятельной работой с учебной и научной литературой, использованием базовых теоретических и практических знаний в области взаимодействия лазерного излучения с веществом при решении поставленных задач.	способность выполнить задания предусмотренные курсом в установленные сроки в строгом соответствии с предъявляемыми требованиями; способность объяснить и эффективно представить результаты освоения курса
<b>ПК-3.2</b>	знает (пороговый уровень)	явления взаимодействия лазерного излучения с объектами, рассеивающей средой; технические средства, способы и методики определения и регистрации параметров взаимодействия лазерного излу-	знание основных явлений взаимодействия лазерного излучения с объектами, рассеивающей средой; технических средств, способов и методик определения и регистрации параметров взаимодействия	способность перечислить основные характеристики явлений взаимодействия лазерного излучения с объектами, рассеивающей средой; технических средств, способов и методик определения и регистра-

		чения с веществом.	лазерного излучения с веществом.	ции параметров взаимодействия лазерного излучения с веществом.
	умеет (продвинутый)	определять и оценивать параметры и характеристики взаимодействия лазерного излучения с веществом.	умение определять и оценивать параметры и характеристики взаимодействия лазерного излучения с веществом.	способность определять и оценивать параметры и характеристики взаимодействия лазерного излучения с веществом по изученным в курсе методикам
	владеет (высокий)	методами обработки и интерпретации измеряемой информации относительно определяемых параметров исследуемых сред, объектов.	владение методами обработки и интерпретации измеряемой информации относительно определяемых параметров исследуемых сред, объектов.	способность выполнить задания предусмотренные курсом в установленные сроки в строгом соответствии с предъявляемыми требованиями; способность объяснить и эффективно представить результаты освоения курса

\* **Критерий** – это признак, по которому можно судить об отличии состояния одного явления от другого. Критерий шире показателя, который является составным элементом критерия и характеризует содержание его. Критерий выражает наиболее общий признак, по которому происходит оценка, сравнение реальных явлений, качеств, процессов. А степень проявления, качественная сформированность, определенность критериев выражается в конкретных показателях. Критерий представляет собой средство, необходимый инструмент оценки, но сам оценкой не является. Функциональная роль критерия – в определении или не определении существенных признаков предмета, явления, качества, процесса и др.

**Показатель** выступает по отношению к критерию как частное к общему.

Показатель не включает в себя всеобщее измерение. Он отражает отдельные свойства и признаки познаваемого объекта и служит средством накопления количественных и качественных данных для критериального обобщения.

Главными характеристиками понятия «показатель» являются конкретность и диагностичность, что предполагает доступность его для наблюдения, учета и фиксации, а также позволяет рассматривать показатель как более частное по отношению к критерию, а значит, измерителя последнего.

## Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий и выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Оценка по 5-балльной шкале	Сумма баллов за разделы	Оценка ECTS
5 – «отлично»	90-100	A
4 – «хорошо»	85-89	B

	75-84	C
	70-74	D
3 – «удовлетворительно»	65-69	
		60-64
2 – «неудовлетворительно»	Ниже 60	F

Расшифровка уровня знаний, соответствующего кредитно-модульной системе и полученным баллам, дается в таблице указанной ниже

Оценка по 5-балльной шкале – оценка по ECTS	Сумма баллов за разделы	Требования к знаниям на устном зачёте/экзамене
«зачтено»/«отлично» – A	90 ÷ 100	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
«зачтено»/«хорошо» – D, C, B	70 ÷ 89	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
«зачтено»/ «удовлетворительно» – E, D	60 ÷ 69	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
«не зачтено»/ «неудовлетворительно» –	менее 60	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам,



<i>F</i>		которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
----------	--	--

### **Критерии оценки (устный ответ)**

**100-85 баллов** - если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

**85-76 - баллов** - ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

**75-61 - балл** - оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

**60-50 баллов** - ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

**Критерии оценки (письменного/устного доклада, реферата, сообщения, эссе, в том числе выполненных в форме презентаций):**

**100-86** баллов выставляется студенту, если студент выразил своё мнение по сформулированной проблеме, аргументировал его, точно определив ее содержание и составляющие. Приведены данные отечественной и зарубежной литературы, статистические сведения, информация нормативно правового характера. Студент знает и владеет навыком самостоятельной исследовательской работы по теме исследования; методами и приемами анализа теоретических и/или практических аспектов изучаемой области. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно.

**85-76** - баллов - работа характеризуется смысловой цельностью, связностью и последовательностью изложения; допущено не более 1 ошибки при объяснении смысла или содержания проблемы. Для аргументации приводятся данные отечественных и зарубежных авторов. Продемонстрированы исследовательские умения и навыки. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет. Допущены одна-две ошибки в оформлении работы.

**75-61** балл - студент проводит достаточно самостоятельный анализ основных этапов и смысловых составляющих проблемы; понимает базовые основы и теоретическое обоснование выбранной темы. Привлечены основные источники по рассматриваемой теме. Допущено не более 2 ошибок в смысле или содержании проблемы, оформлении работы

**60-50** баллов - выставляется студенту, если работа представляет собой пересказанный или полностью переписанный исходный текст без каких бы то ни было комментариев, анализа. Не раскрыта структура и теоретическая составляющая темы. Допущено три или более трех ошибок в смысловом содержании раскрываемой проблемы, в оформлении работы.

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

По дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» предусмотрены виды промежуточной аттестации: экзамен. Экзамен проводится с использованием оценочных средств устного опроса в форме ответов на вопросы экзаменационных билетов.

### **Список вопросов к экзамену**

1. Свойства лазерного излучения. Взаимодействие лазерного излучения с прозрачными средами.
2. Взаимодействие излучения с непрозрачными средами.
3. Решение уравнений Максвелла для непоглощающего диэлектрика.
4. Свойства электромагнитной волны. Энергия электромагнитной волны.
5. Давление света. Закон Снеллиуса.
6. Распространение электромагнитных волн в проводящих средах. Основные уравнения оптики металлов.
7. Скин-эффект и его свойства.
8. Оптические процессы в поглощающих полупроводниках. Особенности собственного поглощения.
9. Кинетика фотовозбуждения полупроводников лазерным излучением.
10. Основные свойства ПЭВ, структура и распределение полей, условия существования, дисперсионное соотношение.
11. Поверхностные плазмон-поляритоны на границе металла с диэлектриком.
12. Методы возбуждения ПЭВ.
13. Пробой газов под действием лазерного излучения. Открытие оптического пробоя. Порог пробоя. Многофотонная ионизация. Лавинная ударная ионизация.
14. Зависимость порога пробоя от давления. Зависимость порога пробоя от длительности лазерного импульса.
15. Оптический пробой на поверхности твердых тел и жидких сред. Характеристики поверхностного и объемного пробоя. Взрывное вскипание жидких сред.
16. Применение оптического пробоя. Лазерная спектроскопия, диагностика плазмы. Лазерная обработка материалов, лазерный пробой в офтальмологии.
17. Спонтанное рассеяние света. Комбинационное, релеевское, рассеяние Мандельштама-Бриллюена.
18. Спектроскопия комбинационного рассеяния света. Понятие стоксовой и антистоксовой части спектра комбинационного рассеяния.
19. Приборы для регистрации спектров комбинационного рассеяния.
20. Вынужденное комбинационное рассеяние света.
21. Лазерно-индуцированная флуоресценция. Кинетика флуоресценции. Стоксов сдвиг. Правило зеркальной симметрии.
22. Приборы для регистрации спектров флуоресценции.
23. Открытие и начальный этап исследования генерации суперконтинуума, фазовая самомодуляция и элементарная теория спектрального уширения сверхкоротких лазерных импульсов.
24. Самофокусировка и филаментация лазерного излучения.
25. Генерация второй гармоники.
26. Интенсивность излучения второй гармоники.
27. Нелинейные материалы.

## Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Взаимодействие лазерного излучения с веществом» проводится в форме контрольных мероприятий (2 письменных контрольных работы, практическая работа) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

### Комплект заданий для контрольной работы 1.

**Вариант 1.** Свойства лазерного излучения. Взаимодействие лазерного излучения с прозрачными средами. Давление света. Закон Снеллиуса. Кинетика фотовозбуждения полупроводников лазерным излучением.

**Вариант 2.** Взаимодействие излучения с непрозрачными средами. Распространение электромагнитных волн в проводящих средах. Основные уравнения оптики металлов. Основные свойства ПЭВ, структура и распределение полей, условия существования, дисперсионное соотношение.

**Вариант 3.** Решение уравнений Максвелла для непоглощающего диэлектрика. Скин-эффект и его свойства. Поверхностные плазмон-поляритоны на границе металла с диэлектриком.

**Вариант 4.** Свойства электромагнитной волны. Энергия электромагнитной волны. Оптические процессы в поглощающих полупроводниках. Особенности собственного поглощения. Методы возбуждения ПЭВ.

## **Комплект заданий для контрольной работы 2.**

**Вариант 1.** Оптический пробой на поверхности твердых тел и жидких сред. Характеристики поверхностного и объемного пробоя. Взрывное вскипание жидких сред. Приборы для регистрации спектров комбинационного рассеяния. Открытие и начальный этап исследования генерации суперконтинуума, фазовая самомодуляция и элементарная теория спектрального уширения сверхкоротких лазерных импульсов.

**Вариант 2.** Применение оптического пробоя. Лазерная спектроскопия, диагностика плазмы. Лазерная обработка материалов, лазерный пробой в офтальмологии. Вынужденное комбинационное рассеяние света. Самофокусировка и филаментация лазерного излучения.

**Вариант 3.** Спонтанное рассеяние света. Комбинационное, релеевское, рассеяние Мандельштама-Бриллюена. Лазерно-индуцированная флуоресценция. Кинетика флуоресценции. Стоксов сдвиг. Правило зеркальной симметрии. Генерация второй гармоники.

**Вариант 4.** Спектроскопия комбинационного рассеяния света. Понятие стоксовой и антистоксовой части спектра комбинационного рассеяния. Приборы для регистрации спектров флуоресценции. Интенсивность излучения второй гармоники. Нелинейные материалы.

Отметка "Отлично" - Верно выполнено более 85% заданий. Отметка "Хорошо" - Верно выполнено 75-85% заданий. Отметка "Удовлетворительно" - Верно выполнено 60-75% заданий. Отметка "Неудовлетворительно" - Верно выполнено менее 60% заданий.