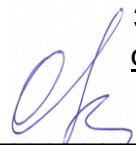


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

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

05.06.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.05 Основы квантовой электроники и лазерная техника

1. Код и наименование направления подготовки: 12.03.03.Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Фотоника и оптоинформатика
3. Квалификация выпускника: бакалавр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Смирнов Михаил Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 04.06.2025 г.
8. Учебный год: 2025/2026 Семестр(ы): 7,8

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

*Целями освоения учебной дисциплины являются:* познакомить студентов, обучающихся по направлению 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, с основами квантовой электроники, рассмотреть элементы оптических квантовых генераторов: активная среда, системы накачки, оптический резонатор, изучить режимы генерации, методы управления пространственными, временными характеристиками лазерного излучения, сформировать современное представление о возможностях применения лазерных систем в современной науке и технике.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучить этапы развития квантовой электроники, ее физические основы;
- сформировать знания о лазерах на твердом теле, лазерах на жидкостях, газовых лазерах, лазерах на полупроводниковых гетероструктурах;
- овладеть навыками управления характеристиками лазерного излучения.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений, блок Б1.

## 11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен оценивать условия и режимы эксплуатации разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	ПК-1.1	Определяет требования к параметрам разрабатываемой оплотехники	<b>Знать:</b> требования к параметрам разрабатываемой оплотехники. <b>Уметь:</b> определять требования к параметрам разрабатываемой оплотехники. <b>Владеть:</b> навыками определения требований к параметрам разрабатываемой оплотехники.
		ПК-1.2	Осуществляет поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта об изделиях аналогах разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<b>Знать:</b> условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. <b>Уметь:</b> согласовывать условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. <b>Владеть:</b> навыками определения условий и режимов эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
		ПК-1.3	Оформляет научно-технические отчеты о результатах разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<b>Знать:</b> результаты разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. <b>Уметь:</b> оформлять научно-технические отчеты о результатах разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. <b>Владеть:</b> навыками оформления научно-технических отчетов.
		ПК-1.4	Согласует условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных	<b>Знать:</b> условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов <b>Уметь:</b> выбирать условия и режимы эксплуатации, конструктивные особенности разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-

			приборов и комплексов	электронных приборов и комплексов <b>Владеть:</b> приёмами управления режимами эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ПК-4	Способен внедрять технологические процессы производства и контроля качества оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов, комплексов и их составных частей	ПК-4.2	Вносит предложения о необходимости разработки новых технологий и приобретения нового оборудования для производства, сборки, юстировки и контроля оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей современной оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<b>Знать:</b> принципы оценки необходимости разработки новых технологий и приобретения нового оборудования для производства, сборки, юстировки и контроля оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей современной оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов <b>Уметь:</b> Вносить предложения о необходимости разработки новых технологий и приобретения нового оборудования для производства, сборки, юстировки и контроля оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей современной оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов <b>Владеть:</b> приёмами внесения предложения разработки новых технологий и приобретения нового оборудования для производства, сборки, юстировки и контроля оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей современной оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
		ПК-4.4	Разрабатывает технологические процессы изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей	<b>Знать:</b> особенности технологических процессов изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей <b>Уметь:</b> Разрабатывать технологические процессы изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей <b>Владеть:</b> технологическими процессами изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 7/252 .**

**Форма промежуточной аттестации:** *зачёт, экзамен*

### **13. Виды учебной работы:**

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			7	8
Аудиторные занятия		154	50	104
в том числе:	лекции	64	38	26
	практические	38	12	26
	лабораторные	52		52
Самостоятельная работа		62	22	40

в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации <i>зачёт, экзамен</i>	36	зачет	Зачет Экзамен 36
Итого:	252	72	180

### 13.1 Содержание дисциплины:

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
<b>7 семестр</b>		
1.1	Введение. Историческая справка.	Определение, задачи и предмет квантовой электроники. Принципиальная схема генератора. Три фундаментальных положения квантовой электроники.
1.2	Закон Бугера с учётом вынужденных переходов.	Закон Бугера с учётом вынужденных переходов. Спонтанное и вынужденное излучение. Спонтанные и вынужденные переходы. Понятие когерентности и переход к непрерывной волне.
1.3	Спектральный контур излучения	Естественная ширина спектральной линии. Механизмы релаксации и уширения спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий.
1.4	Поглощение и усиление.	Поглощение и усиление. Активная среда. Сечение поглощения. Условие инверсии населённости с учётом вырождения. Кинетические уравнения для двухуровневой системы с учётом вынужденных переходов и температурной релаксации.
1.5	Коэффициенты Эйнштейна и матричный элемент оператора перехода	Волновые функции стационарных состояний. Уравнение Шредингера при наличии возмущений. Первое приближение теории возмущений. Суперпозиция волновых функций стационарных состояний. Вычисление коэффициентов Эйнштейна для индуцированных переходов в двухуровневой системе. Матричный элемент оператора дипольного момента перехода. Осцилляции населенности верхнего уровня, частота Раби.
1.6	Лазеры-усилители	Усиление и генерация. Полоса пропускания усилителя бегущей волны. Шум квантового усилителя. Максимальная выходная мощность. Импульсный режим, максимальная выходная энергия, изменение формы импульса при нелинейном усилении.
1.7	Генерация	Открытый резонатор, его добротность. Регенерация резонатора при усилении. Проходной резонаторный усилитель. Отражательный усилитель. Условия самовозбуждения. Условия резонанса. Частота генерации. Максимальная выходная мощность.
1.8	Открытые резонаторы	Резонаторы в электронике. Переход к коротким волнам. Падение добротности и сгущение резонансов замкнутых объемов. Открытые резонаторы, прореживание спектра. Число Френеля. Моды. Время жизни моды пассивного резонатора. Дифракционные потери. Метод Фокса и Ли. Интегральное уравнение открытого резонатора.
1.9	Гауссовы пучки	Конфокальный резонатор. Распределение поля. Гауссовы пучки. Размер пятна. Расходимость излучения. Радиус кривизны волнового фронта. Преобразование гауссовых пучков линзой. Согласование мод резонаторов. Фокусирование гауссовых пучков. Продольный и поперечный размеры фокальной области.
1.10	Устойчивость резонаторов	Устойчивость линзовых световодов. Световод с одинаковыми линзами. Световод с чередующимися линзами двух различных фокусных расстояний. Условие устойчивости, диаграмма устойчивости. Эквивалентность линзового световода и открытого резонатора. Типы устойчивых резонаторов. Селекция поперечных мод диафрагмой. Неустойчивые резонаторы.
1.11	Неустойчивые резонаторы	Геометро-оптическое рассмотрение. Коэффициент увеличения, потери на излучение. Симметричный резонатор, телескопический резонатор. Эквивалентное число Френеля. Селекция продольных мод. Частотная селекция, пространственная селекция тонкими поглотителями. Дисперсионные резонаторы.
1.12	Синхронизация мод	Генерация излучения в нескольких продольных модах. Нерегулярный характер спектра генерации. Затягивание мод.

		Синхронизация мод. Длительность и период следования импульсов при синхронизации мод. Активная и пассивная синхронизация. Самосинхронизация. Модуляция добротности. Провал Лэмба
<b>8 семестр</b>		
1.13	Лазеры на твердом теле.	Спектр поглощения изолированных атомов и атомов в твердом теле. Процессы образования электронных зон. Активные среды. Тип матриц. Активаторы. Требования к активным средам. Метастабильный уровень. Рубин. Условия инверсной заселенности. Ниодимовая активная среда. Четырехуровневая схема уровней. Условия инверсной заселенности. Тепловое возбуждение нижнего лазерного уровня.
1.14	Лазеры на жидкостях	Лазеры на жидкостях. Лазеры на хелатах. Структура. Энергетические уровни. Условия инверсии заселенностей. Органические красители. Закон Стокса. Спектр молекул. Схема энергетических уровней. Синглетные и триплетные состояния. Инверсия заселенностей. Ширина линии генерации. Перестройка длин волн. Фотодиссоциация.
1.15	Газовые лазеры.	Газовые лазеры. Неупругие столкновения электронов с атомами. Удары второго рода. Гелий-неоновый лазер. Активные элементы. Инверсия заселенности. Зависимость мощности генерации от тока. Гелий-кадмиевый лазер. Реакция Пеннинга. Схема уровней. Условия инверсной заселенности. Явление катафореза. Особенности конструкции активного элемента. Лазер на CO <sub>2</sub> . Колебательно-вращательные спектры молекул. Колебательные квантовые числа. Р- и R- ветви. Процессы возбуждения и разрушения уровней. Инверсия заселенности. Продольные и поперечные CO <sub>2</sub> - лазеры. Лазеры на парах меди и молекулярном азоте. Самоограниченные переходы. Принцип Франка-Кондона.
1.16	Лазеры на полупроводниковых гетероструктурах.	Энергетическая диаграмма рп перехода. Квазиуровень Ферми для электронов и дырок. Инжекция носителей заряда через рп переход. Энергетические диаграммы одинарного и двойного гетероперехода, их свойства. Распространение света в двойной гетероструктуре. Порог генерации полупроводникового гетеролазера.
1.17	Управление характеристиками лазерного излучения.	Свойства лазерных пучков. Монохроматичность. Когерентность. Направленность. Яркость. Селекция линий излучения лазера. Применение широкополосных поглощающих фильтров и дисперсионных элементов. Селекция продольных мод. Интерференционные методы селекции. Одномодовый режим генерации. Различные методы модуляции добротности (электрооптический, акустооптический, оптико- механический, фототропный). Режим синхронизации мод. Активная и пассивная синхронизация. Расчет длительности импульса в режиме синхронизации мод. Генерация сверхкоротких (фемтосекундных) лазерных импульсов. Модуляторы и дефлекторы лазерного излучения.
<b>2. Практические занятия</b>		
<b>7 семестр</b>		
2.1	Тема №1	Техника безопасности при работе с лазерной техникой. Определение класса опасности лазера.
2.2	Тема №2	Изучение параметров твердотельных лазеров на примере лазера Nd <sup>3+</sup> :YAG (LotisTII LS 2132UTF)
2.3	Тема №3	Изучение параметров газовых лазеров на примере лазера He-Ne 3В U21840
<b>8 семестр</b>		
2.4	Тема №4	Изучение параметров полупроводниковых лазеров на примере лазера 405 нм (China)
2.5	Тема №5	Расчет оптической системы для формирования лазерного пучка
2.6	Тема №6	Расчет параметров оптических пучков лазера.
2.7	Тема №7	Насыщение поглощения.
2.8	Тема №8	Процесс обратного насыщения поглощения на оптических переходах в молекулах красителя Метиленовый голубой.
<b>3. Лабораторные работы</b>		
<b>8 семестр</b>		
3.1	Лабораторная работа № 1	Экспериментальное определение профиля пучка лазерного

		источника.
3.2	Лабораторная работа № 2	Экспериментальное определение расходимости пучка источника лазерного излучения.
3.3	Лабораторная работа № 3	Определение радиуса перетяжки лазерного пучка в фокальной плоскости собирающей линзы
3.4	Лабораторная работа № 4	Исследование нелинейно-оптических параметров коллоидных растворов методом Z-сканирования.

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Сам работа	Контроль	Всего
1.	Введение. Историческая справка.	3			1		4
2.	Закон Бугера с учётом вынужденных переходов.	3			1		4
3.	Спектральный контур излучения	3			1		4
4.	Поглощение и усиление.	3			1		4
5.	Коэффициенты Эйнштейна и матричный элемент оператора перехода	4			2		6
6.	Лазеры-усилители	3			2		5
7.	Генерация	3			2		5
8.	Открытые резонаторы	4			2		6
9.	Гауссовы пучки	3			2		5
10.	Устойчивость резонаторов	3			2		5
11.	Неустойчивые резонаторы	3			2		5
12.	Синхронизация мод	3			2		5
13.	Лазеры на твердом теле.	5			2		7
14.	Лазеры на жидкостях	5			2		7
15.	Газовые лазеры.	5			2		7
16.	Лазеры на полупроводниковых гетероструктурах.	5			2		7
17.	Управление характеристиками лазерного излучения.	6			2		8
18.	Техника безопасности при работе с лазерной техникой. Определение класса опасности лазера.		4		2		6
19.	Изучение параметров твердотельных лазеров на примере лазера Nd <sup>3+</sup> :YAG (LotisTII LS 2132UTF)		4		2		6
20.	Изучение параметров газовых лазеров на примере лазера He-Ne 3B U21840		4		2		6
21.	Изучение параметров		5		2		7

	полупроводниковых лазеров на примере лазера 405 нм (China)						
22.	Расчет оптической системы для формирования лазерного пучка.		5		2		7
23.	Расчет параметров оптических пучков лазера.		5		2		7
24.	Насыщение поглощения.		5		2		7
25.	Процесс обратного насыщения поглощения на оптических переходах в молекулах красителя Метиленовый голубой.		6		2		8
26.	Экспериментальное определение профиля пучка лазерного источника.			12	4		16
27.	Экспериментальное определение расходимости пучка источника лазерного излучения.			14	4		18
28.	Определение радиуса перетяжки лазерного пучка в фокальной плоскости собирающей линзы			12	4		16
29.	Исследование нелинейно-оптических параметров коллоидных растворов методом Z-сканирования.			14	4		18
	экзамен					36	36
	Итого:	64	38	52	62	36	252

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

- Работа с текстом конспекта лекции.
- Чтение основной и дополнительной литературы. Самостоятельное изучение материала по литературным источникам.
- подготовка к лабораторным и практическим занятиям, написание отчетов.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Шангина, Л.И. Квантовая и оптическая электроника: учебное пособие / Л.И. Шангина. - Томск :

	Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 303 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="https://biblioclub.lib.vsu.ru/index.php?page=book&amp;id=208584">https://biblioclub.lib.vsu.ru/index.php?page=book&amp;id=208584</a>
2	Привалов, В.Е. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Е. Привалов, А. Э. Фотиади, В. Г. Шеманин .— Москва : Лань, 2013 .— 288 с. <URL: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=5851">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&amp;pl1_id=5851</a> >

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Менушенков, А.П. Физические основы лазерной технологии : учебное пособие / А.П. Менушенков, В.Н. Неволлин, В.Н. Петровский. - М. : МИФИ, 2010. - 212 с. - ISBN 978-5-7262-1252-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=231907">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=231907</a>
4	Делоне, Николай Борисович. Взаимодействие лазерного излучения с веществом : курс лекций / Н. Б. Делоне .— М. : Наука, 1989 .— 277,[1] с. : ил. — Библиогр. в конце лекций .— Предм. указ.: с. 274-275 .— ISBN 5-02-014056-2 : 3 р. (2 экземпляра)
5	Звелто, Орацио. Принципы лазеров / О. Звелто ; Перевод с англ. Е. В. Сорокина и др.; Под ред. Т. А. Шмаонова .— 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Мир, 1990 .— 558 с. : ил., табл. — Библиогр. в конце разделов .— Предм. указ.: с. 549-553 .— ISBN 5-03-001053-X : 4 р. (2 экземпляра)
6	Пихтин, А.Н. Оптическая и квантовая электроника / А.Н. Пихтин .— М. : Высш. шк., 2001 .— 572, (3 экземпляра)

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Ресурсы Интернет
7	Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online" – <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a>
8	Электронно-библиотечная система "Консультант студента" – <a href="http://www.studmedlib.ru">http://www.studmedlib.ru</a>
9	Электронно-библиотечная система "Лань" – <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
10	Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" – <a href="http://rucont.ru">http://rucont.ru</a>
11	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ

## 16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Учебно-методические указания к лабораторным занятиям дисциплины "Основы квантовой электроники".
2	Электронный учебный курс " Основы квантовой электроники ".

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

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и практические занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

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

Защита лабораторной работы проводится с целью выявления уровня освоения материала по тематике работы, способности дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы. Защита работы заключается в оформлении работ, устной беседе



преподавателя со студентом по полученным в работе результатам и основным теоретическим понятиям по теме работы.

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

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для лекционных занятий, оснащенная: ноутбуком Asus, с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ, проектором BenQ MS 612ST, доской магнитно-маркерной 100\*200.

Учебно-научные аудитории, оснащенные оборудованием для проведения лабораторных занятий: Лабораторные стенды.

Программное обеспечение: ОС Windows (WinPro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc), Microsoft Office (OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc). Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ». Office Standard 2019 Single OLV NL Each AcademicEdition Additional Product.

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

Установка Z-сканирования на основе моторизованного линейного транслятора 8MT50-200BS1-MEn1 (Standa, Литва) и Nd:YAG лазера LS-2132UTF (Lotis TII, Беларусь), обеспечивающего генерацию излучения с длинами волн 266 нм, 355 нм, 532 нм и 1064 нм и длительностью импульса 5-8 нс, и приемника излучения FDS 10x10 (Thorlabs, USA) – для исследования нелинейно-оптических свойств образцов. Источники лазерного излучения: твердотельный лазер; Nd<sup>3+</sup>:YAG (LotisTII LS 2132UTF); газовый лазер He-Ne 3B U21840; полупроводниковый лазер 405 нм (China). Анализатор профиля пучка; Измеритель мощности и энергии лазерного излучения PM100USB + детектор ES111C; оптический стол.

## 19. Фонд оценочных средств:

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

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-1.1. Определяет требования к параметрам разрабатываемой оплотехники	<b>Знать:</b> требования к параметрам разрабатываемой оплотехники. <b>Уметь:</b> определять требования к параметрам разрабатываемой оплотехники. <b>Владеть:</b> навыками определения требований к параметрам разрабатываемой оплотехники.	Этапы 1-29:	Устный опрос, отчеты по лабораторным работам, выполнение практических заданий
ПК-1.2. Осуществляет поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта об изделиях аналогах разрабатываемой оплотехники,	<b>Знать:</b> условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. <b>Уметь:</b> согласовывать условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. <b>Владеть:</b> навыками определения условий и		

оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	режимов эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов		
ПК-1.3. Оформляет научно-технические отчеты о результатах разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<p><b>Знать:</b> результаты разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.</p> <p><b>Уметь:</b> оформлять научно-технические отчёты о результатах разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками оформления научно-технических отчётов.</p>		
ПК-1.4. Согласует условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<p><b>Знать:</b> условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p> <p><b>Уметь:</b> выбирать условия и режимы эксплуатации, конструктивные особенности разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p> <p><b>Владеть:</b> приёмами управления режимами эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p>		
ПК-4.2 Вносит предложения о необходимости разработки новых технологий и приобретения нового оборудования для производства, сборки, юстировки и контроля оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей современной оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	<p><b>Знать:</b> принципы оценки необходимости разработки новых технологий и приобретения нового оборудования для производства, сборки, юстировки и контроля оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей современной оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p> <p><b>Уметь:</b> Вносить предложения о необходимости разработки новых технологий и приобретения нового оборудования для производства, сборки, юстировки и контроля оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей современной оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p> <p><b>Владеть:</b> приёмами внесения предложения разработки новых технологий и приобретения нового оборудования для производства, сборки, юстировки и контроля оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей современной оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p>		
ПК-4.4 Разрабатывает технологические процессы изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей	<p><b>Знать:</b> особенности технологических процессов изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей</p> <p><b>Уметь:</b> Разрабатывать технологические процессы изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей</p> <p><b>Владеть:</b> технологическими процессами изготовления оптических, оптико-электронных, механических блоков, узлов и деталей</p>		
Промежуточная аттестация форма контроля – <b>зачёт и экзамен</b>			КИМ

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос); лабораторных работ; оценки результатов практической деятельности (решение задач, работа на семинарах). Критерии оценивания приведены ниже. Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков. При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены ниже.

Для оценивания результатов обучения на экзамене учитываются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами волновых явлений;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными, используемые в квантовой электронике;
- 4) владение понятийным аппаратом и умение применять теоретические знания для решения различных задач квантовой электроники.

### Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

#### Зачёт

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Посещение лекционных и лабораторных занятий. Ответ на вопрос контрольно-измерительного материала во время зачета. Ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>зачёт</i>
<i>Пропуски лекционных и лабораторных занятий. Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.</i>	–	<i>Неудовлетворительно</i>

#### Экзамен

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Посещение лекционных и лабораторных занятий. Ответ на вопрос контрольно-измерительного материала во время зачета. Ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Посещение лекционных и лабораторных занятий. Ответ на</i>	<i>Базовый</i>	<i>Хорошо</i>

контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано теоретических основ дисциплины.	уровень	
Пропуски лекционных и лабораторных занятий. Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Имеет не полное представление о теоретических основах., допускает существенные ошибки.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Пропуски лекционных и лабораторных занятий. Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.	–	Неудовлетворительно

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

#### 19.3.1 Перечень вопросов к зачёту и экзамену:

1. Принципиальная схема генератора. Три фундаментальных положения квантовой электроники.
2. Закон Бугера с учётом вынужденных переходов. Спонтанное и вынужденное излучение. Спонтанные и вынужденные переходы. Понятие когерентности и переход к непрерывной волне.
3. Естественная ширина спектральной линии. Механизмы релаксации и уширения спектральных линий. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий.
4. Поглощение и усиление. Активная среда. Сечение поглощения. Условие инверсии населённостей с учётом вырождения.
5. Кинетические уравнения для двухуровневой системы с учётом вынужденных переходов и температурной релаксации.
6. Волновые функции стационарных состояний. Уравнение Шредингера при наличии возмущений. Первое приближение теории возмущений.
7. Суперпозиция волновых функций стационарных состояний.
8. Вычисление коэффициентов Эйнштейна для индуцированных переходов в двухуровневой системе.
9. Матричный элемент оператора дипольного момента перехода. Осцилляции населённости верхнего уровня, частота Раби.
10. Усиление и генерация. Полоса пропускания усилителя бегущей волны. Шум квантового усилителя. Максимальная выходная мощность.
11. Импульсный режим квантового усилителя, максимальная выходная энергия, изменение формы импульса при нелинейном усилении.
12. Открытый резонатор, его добротность. Регенерация резонатора при усилении. 13. Проходной резонаторный усилитель. Отражательный усилитель. Условия самовозбуждения. Условия резонанса. Частота генерации. Максимальная выходная мощность.
14. Резонаторы в электронике. Переход к коротким волнам. Падение добротности и сгущение резонансов замкнутых объемов.
15. Открытые резонаторы, прореживание спектра. Число Френеля. Моды. Время жизни моды пассивного резонатора. Дифракционные потери. Метод Фокса и Ли. Интегральное уравнение открытого резонатора.
16. Конфокальный резонатор. Распределение поля.
17. Гауссовы пучки. Размер пятна. Расходимость излучения. Радиус кривизны волнового фронта.
18. Преобразование гауссовых пучков линзой. Согласование мод резонаторов. Фокусирование гауссовых пучков.
19. Продольный и поперечный размеры фокальной области.
20. Устойчивость линзовых световодов. Световод с одинаковыми линзами. Световод с чередующимися линзами двух различных фокусных расстояний.
21. Условие устойчивости, диаграмма устойчивости. Эквивалентность линзового световода и открытого резонатора. Типы устойчивых резонаторов.
22. Селекция поперечных мод диафрагмой. Неустойчивые резонаторы.

23. Геометро-оптическое рассмотрение. Коэффициент увеличения, потери на излучение.
24. Симметричный резонатор, телескопический резонатор. Эквивалентное число Френеля. Селекция продольных мод. Частотная селекция, пространственная селекция тонкими поглотителями.
25. Дисперсионные резонаторы.
26. Генерация излучения в нескольких продольных модах. Нерегулярный характер спектра генерации. Затягивание мод. Синхронизация мод. Длительность и период следования импульсов при синхронизации мод. Активная и пассивная синхронизация.
27. Самосинхронизация. Модуляция добротности. Провал Лэмба
28. Спектр поглощения изолированных атомов и атомов в твердом теле. Процессы образования электронных зон. Активные среды. Тип матриц. Активаторы.
29. Требования к активным средам. Метастабильный уровень. Рубин. Условия инверсной заселенности. Ниодимовая активная среда. Четырехуровневая схема уровней. Условия инверсной заселенности.
30. Тепловое возбуждение нижнего лазерного уровня.
- Лазеры на жидкостях.
31. Лазеры на хелатах. Структура. Энергетические уровни. Условия инверсии заселенностей.
32. Органические красители. Закон Стокса. Спектр молекул. Схема энергетических уровней. Синглетные и триплетные состояния. Инверсия заселенностей. Ширина линии генерации. Перестройка длин волн. Фотодиссоциация.
33. Газовые лазеры. Неупругие столкновения электронов с атомами. Удары второго рода.
34. Гелий-неоновый лазер. Активные элементы. Инверсия заселенности. Зависимость мощности генерации от тока.
35. Гелий-кадмиевый лазер. Реакция Пеннинга. Схема уровней. Условия инверсной заселенности. Явление катафореза. Особенности конструкции активного элемента.
36. Лазер на CO<sub>2</sub>. Колебательно-вращательные спектры молекул. Колебательные квантовые числа. R- и R'- ветви. Процессы возбуждения и разрушения уровней. Инверсия заселенности. Продольные и поперечные CO<sub>2</sub>- лазеры.
37. Лазеры на парах меди и молекулярном азоте. Самоограниченные переходы. Принцип Франка-Кондона.
38. Энергетическая диаграмма np перехода. Квазиуровень Ферми для электронов и дырок. Инжекция носителей заряда через np переход.
39. Энергетические диаграммы одинарного и двойного гетероперехода, их свойства. Распространение света в двойной гетероструктуре. Порог генерации полупроводникового гетеролазера.
40. Свойства лазерных пучков. Монохроматичность. Когерентность. Направленность. Яркость. Селекция линий излучения лазера.
41. Применение широкополосных поглощающих фильтров и дисперсионных элементов. Селекция продольных мод.
42. Интерференционные методы селекции. Одномодовый режим генерации. Различные методы модуляции добротности (электрооптический, акустооптический, оптико- механический, фототропный). Режим синхронизации мод. Активная и пассивная синхронизация. Расчет длительности импульса в режиме синхронизации мод. Генерация сверхкоротких (фемтосекундных) лазерных импульсов. Модуляторы и дефлекторы лазерного излучения.

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); тестирования; оценки результатов практической деятельности. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.

## Пример контрольно-измерительного материала

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
подпись, расшифровка подписи

\_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_

Направление подготовки / специальность 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика  
шифр, наименование

Дисциплина Основы квантовой электроники

Вид контроля экзамен

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Поглощение и усиление. Инверсия активной среды как необходимое условие генерации лазера.
2. Свойства лазерных пучков. Монохроматичность. Когерентность. Направленность. Яркость.

Преподаватель \_\_\_\_\_  
подпись    расшифровка подписи

----

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
подпись, расшифровка подписи

\_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_

Направление подготовки / специальность 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика  
шифр, наименование

Дисциплина Основы квантовой электроники

Вид контроля экзамен

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Квантово-механические явления, составляющие основу физики лазеров: поглощение, спонтанное и индуцированное излучения.
2. Классификация лазеров с учетом методов накачки.

Преподаватель \_\_\_\_\_  
подпись    расшифровка подписи