

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Институт технологий и инженерной механики  
Кафедра микро- и наноэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

директор института технологий и  
инженерной механики

Могильная Е.П.

«18» 09 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

По направлению подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль «Электронные приборы и устройства»

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника. – 28 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19.09.2017 года № 927.

СОСТАВИТЕЛИ:

к.т.н., доцент Войтенко В.А.;

к.т.н., доцент Войтенко Г.О.;

старший преподаватель Куценко В.Н.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники «14» 04 2023 г., протокол № 9.

Заведующий кафедрой

микро- и нанoeлектроники \_\_\_\_\_ Войтенко В. А.

Переутверждена: «  » \_\_\_\_\_ 202   г., протокол № \_\_\_\_\_.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики «18» 04 2023 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической

комиссии института технологий и инженерной механики \_\_\_\_\_ С. Н. Ясуник

© Войтенко В.А., Войтенко Г.О., Куценко В.Н., 2023 год  
© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

## 1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель дисциплины – изучение современных квантовооптических электронных приборов и устройств и основных направлений электроники для решения проблем дальнейшей микроминиатюризации, повышения быстродействия, объема памяти, надежности, стабильности, расширения частотного диапазона.

Задачи: ознакомление студентов с принципами работы, выбором и расчетом квантовооптических приборов и устройств и основными направлениями развития квантовой и оптической электроники.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП ВО. Требования к условиям освоения содержания дисциплины

Дисциплина «Квантовая и оптическая электроника» относится к циклу профессиональных дисциплин.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания физики и математики, основ измерительной техники, измерительных преобразователей, основ теории сигналов и цепей; умения использования персонального компьютера на уровне пользователя, работы в средах MATLAB и Multisim; навыки работы с измерительными приборами (мультиметр, осциллограф), генераторами гармонических и периодических сигналов.

Содержание дисциплины основано на знаниях дисциплин «Математика», «Физика», «Введение в технику измерений», «Основы отраслевых знаний», «Теория сигналов», «Теория электронных цепей» и служит основой для освоения дисциплин «Схемотехника», «Приборы и методы СВЧ», «Проектирование интегральных микросхем».

## 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ПК-8. Способен к эксплуатации измерительного, диагностического, технологического оборудования	ПК-8.1. Знает функциональные возможности электронного оборудования. ПК-8.2. Умеет осуществлять метрологическое обеспечение технологических и измерительных процессов при производстве приборов квантовой электроники и фотоники на базе нанотехнологий. ПК-8.3. Владеет навыками мониторинга диагностического,	Знать: методы измерения и синтеза наноструктур; основы кремниевой одноэлектроники и функциональные возможности электронного оборудования; функциональные возможности микро- и наноэлектромеханических систем;
		Уметь: осуществлять метрологическое обеспечение технологических и измерительных процессов при производстве

	технологического оборудования.	<p>наночастиц; использовать методы измерения и исследования наночастиц; анализировать цифровые отображения наночастиц;</p> <p>Владеть: навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования в инженерной практике, связанной с изготовлением, выбором и эксплуатацией приборов и устройств наноэлектроники;</p>
ПК-10. Способен осуществлять эксплуатацию и обслуживание приборов электроники и наноэлектроники	<p>ПК-10.1. Знает принципы эксплуатации и обслуживания приборов электроники и наноэлектроники.</p> <p>ПК-10.2. Умеет осуществлять эксплуатацию приборов электроники и наноэлектроники.</p> <p>ПК-10.3. Владеет навыками обслуживания приборов электроники и наноэлектроники.</p>	<p>Знать: принципы эксплуатации и обслуживания приборов электроники и наноэлектроники основанных на индуцированных переходах, поглощении и усилении, устойчивости линзовых световодов, генерации излучения в нескольких продольных модах, активной и пассивной синхронизации, самосинхронизации, квантовой природе света, индуцированном излучении; устройство, принципы действия, особенности работы и обслуживания резонаторов разных типов;</p> <p>Уметь: осуществлять эксплуатацию приборов электроники и наноэлектроники основанную на применении оптических резонаторов;</p> <p>Владеть: навыками обслуживания электронных устройств квантовой и оптической электроники; навыками проведения измерений, контроля и обслуживания с использованием цифрового осциллографа; навыками представления результатов поверочных работ.</p>

## 4. Структура и содержание дисциплины

### 4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
<b>Общая учебная нагрузка (всего)</b>	<b>144</b> (4 зач. ед)	<b>144</b> (4 зач. ед)
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b> <b>в том числе:</b>	<b>72</b>	<b>20</b>
Лекции	36	10
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	-	-
Лабораторные работы	36	10
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса ( <i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i> )	-	-
<b>Самостоятельная работа студента (всего)</b>	<b>72</b>	<b>124</b>
Форма аттестации	экзамен	экзамен

### 4.2. Содержание разделов дисциплины

#### **Тема 1. Коэффициенты Эйнштейна.**

Основные понятия и определения. Определения квантовой электроники. Индуцированные и спонтанные переходы. Когерентность индуцированного излучения.

#### **Тема 2. Ширина линии.**

Соотношение неопределенностей. Ларинцева форма линии. Вероятность индуцированных переходов. Однородные и неоднородные уширения. Гауссова форма линии.

#### **Тема 3. Усиление.**

Поглощение и усиление. Активная среда. Сечение поглощения. Эффект насыщения. Плотность потока энергии насыщенного излучения. Импульсный режим. Энергия насыщения.

#### **Тема 4. Коэффициент Эйнштейна и матричный элемент матрицы перехода.**

Волновые функции стационарных состояний. Уравнение Шредингера при наличии возмущений. Первое приближение теории возмущений. Суперпозиция волновых функций стационарных состояний.

#### **Тема 5. 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.

### **Тема 6. Генерация.**

Открытый резонатор и его добротность. Регенерация резонатора при усилении. Пропускной резонаторный усилитель. Отражательный усилитель. Условия для самовозбуждения. Условия резонанса. Частота генерации. Максимальная выходная мощность.

### **Тема 7. 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.

### **Тема 8. Гауссовы пучки.**

Конфокальный резонатор. Распределение поля. Гауссовы пучки. Размер пятна. Расходимость излучения. Радиус кривизны волнового фронта.

### **Тема 9. Устойчивость резонаторов.**

Устойчивость линзовых световодов. Световоды с одинаковыми линзами. Световод с чередующимися линзами с различными фокусными расстояниями. Условие устойчивости. Диаграмма устойчивости.

### **Тема 10. Неустойчивые резонаторы.**

Геометро-оптическое рассмотрение. Коэффициент увеличения. Потери на излучение. Симметричный резонатор. Телескопический резонатор. Эквивалентное число Френеля. селекция продольных мод.

### **Тема 11. 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.

### **Тема 12. История квантовой электроники. Основные формулы.**

История возникновения квантовой электроники. Квантовая природа света. Индуцированное излучение. Бозоны. Эйнштейн. Дирак. Первый мазер. Радио и оптика. Радиоспектроскопия.

### **Тема 13. Газовые лазеры. Гелий-неоновый лазер.**

Особенности газообразной среды. Основные методы возбуждения. Электрический разряд. Оптическая накачка. Резонансная передача энергии

возбуждения при столкновениях. Схема уровней. Передача энергии возбуждения.

#### **Тема 14. Ионные лазеры. Лазеры на парах металлов.**

Аргоновый лазер. Схема уровней. Двухступенчатое возбуждение. Зависимость от тока разряда. Гелий-кадмиевый лазер. Медный лазер.

#### **Тема 15. СО-лазеры.**

Молекулярные лазеры. Требования к рабочему веществу мощных газовых лазеров. Колебательные спектры молекул. Механизм инверсии. Роль гелия и азота.

### **4.3. Лекции**

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Коэффициенты Эйнштейна	2	-
2	Ширина линии	2	2
3	Усиление	2	-
4	Коэффициент Эйнштейна и матричный элемент матрицы перехода	2	-
5	Лазеры-усилители	2	2
6	Генерация	2	-
7	Открытые резонаторы	2	-
8	Гауссовы пучки	2	2
9	Устойчивость резонаторов	2	-
10	Неустойчивые резонаторы	2	-
11	Синхронизация мод	2	2
12	История квантовой электроники. Основные формулы.	2	-
13	Газовые лазеры. Гелий-неоновый лазер.	2	-
14	Ионные лазеры. Лазеры на парах металлов.	2	-
15	СО-лазеры. Часть 1.	2	2
16	СО-лазеры. Часть 2.	2	-
17	Химические лазеры	2	-
18	Газовые лазеры на электронных переходах в молекулах	2	-
19	Вспомогательное излучение накачки в системах со многими уровнями энергии	2	-
20	Рубиновый и неодимовый лазеры.	2	-
21	Безизлучательная релаксация в твердом теле	2	-
<b>Итого:</b>		<b>36</b>	<b>10</b>

#### **4.4. Практические занятия**

Не предусмотрены учебным планом.

#### **4.5. Лабораторные работы**

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма

1	Изучение основных характеристик тепловых источников света.	2	-
2	Изучение основных характеристик инжекционных излучающих диодов.	2	-
3	Изучение спектральных характеристик инжекционных излучающих диодов при разном токе накачки.	2	-
4	Изучение спектральных характеристик лазерного диода из арсенида галлия при разном токе накачки.	2	-
5	Изучение диаграммы направленности излучения лазера.	2	-
6	Изучение временных и мощностных характеристик лазера при модуляции тока накачки.	2	-
7	Изучение температурных характеристик лазера и инжекционного диода.	2	-
8	Изучение зависимости величины внешнего квантового выхода у диода полусферической конструкции от температуры и от инжекционного тока.	2	-
9	Изучение быстродействия и спектрального состава люминесцентных диодов.	2	-
10	Изучение зависимости сопротивления пленочного фоторезистора от освещенности.	2	-
11	Изучение области спектральной чувствительности пленочного фоторезистора.	2	1
12	Изучение быстродействия и времени релаксации пленочного фоторезистора.	2	-
13	Изучение световых характеристик пленочного фотоэлемента.	2	1
14	Снятие вольтамперной характеристики кремниевого фотодиода.	2	1
15	Снятие спектральной характеристики относительной чувствительности кремниевого фотодиода.	2	1
16	Снятие вольтамперной характеристики германиевого фотодиода.	2	1
17	Снятие спектральной характеристики германиевого фотодиода.	2	1
18	Изучение работы кремниевого и германиевого фотодиода в фотогальваническом режиме и фотодиодном режиме.	2	1
19	Изучение вольтамперных характеристик фоторезистора.	2	1
20	Изучение оптических характеристик фототранзисторов.	2	1
21	Изучение электрических и оптических свойств фоторезисторов с p-i-n структурой.	2	1
<b>Итого:</b>		<b>36</b>	<b>10</b>

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Волновые функции стационарных состояний. Уравнение Шредингера при наличии возмущений. Первое приближение теории возмущений. Суперпозиция волновых функций	Подготовка к тестированию	1	12

	стационарных состояний. (Коллоквиум).			
2	Исследование характеристик полупроводниковых квантовооптических приборов.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	3	12
3	Открытый резонатор и его добротность. Регенерация резонатора при усилении. Проходной резонаторный усилитель. Отражательный усилитель. Условия для самовозбуждения. Условия резонанса. Частота генерации. Максимальная выходная мощность. (Коллоквиум).	Подготовка к тестированию	1	13
4	Исследование характеристик полупроводниковых квантовооптических приборов.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	4	13
5	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. (Коллоквиум).	Подготовка к тестированию	1	12
6	Исследование временных характеристик диодов, Светодиодов и оптронов	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	4	12
7	Особенности газообразной среды. Основные методы возбуждения. Электрический разряд. Оптическая накачка. Резонансная передача энергии возбуждения при столкновениях. Схема уровней. Передача энергии возбуждения. (Коллоквиум).	Подготовка к тестированию	5	13
8	Исследование яркостных характеристик светоизлучающих диодов, спектральной.	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	16	13
9	Экзамен по дисциплине	Подготовка к семестровому экзамену	36	36
<b>Итого:</b>			<b>72</b>	<b>124</b>

#### 4.7. Курсовые работы/проекты

Не предусмотрены учебным планом.

## **5. Образовательные технологии**

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования;

технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

## **6. Формы контроля освоения дисциплины**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем(ями), ведущими лабораторные работы по дисциплине в следующих формах:

- контрольные вопросы к лекциям;
- вопросы к лабораторным работам;

- тесты;
- вопросы к зачету.

Фонды оценочных средств, включающие контрольные вопросы, вопросы коллоквиумов, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в 5 семестре обучения в форме зачета. Студенты, выполнившие 75 % текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В зачетную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по национальной шкале, приведенной в таблице.

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Обучающийся глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.	
Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы	не зачтено

## 7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература:

1. Пахомов И.И. Квантовая теория излучения. Взаимодействие излучения с веществом [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / И.И. Пахомов, А.М. Хорохоров. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 34 с. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: [http://www.studentlibrary.ru/book/bauman\\_0453.html](http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0453.html)

2. Сенин А.И. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / А.И. Сенин. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 71 с. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: [http://www.studentlibrary.ru/book/bauman\\_0417.html](http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0417.html)

б) Дополнительная литература:

1. Драгунов В.П., Основы нанoeлектроники / Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. - М.: Техносфера, 2018. - 550 с. - ISBN 978-5-94836-498-8 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948364988.html>.

2. Кларк Э.Р., Нанотехнологии / Кларк Эшли Р., Эберхардт Колин Н. - М.: Техносфера, 2007. - 376 с. - ISBN 978-5-94836-121-5 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948361215.html>.

3. Бабёр А.И. Электрические измерения: учеб. пособие [Электронный ресурс] / А.И. Бабёр, Е.Т. Харевская. - Минск: РИПО, 2019. - 106 с. - ISBN 978-985-503-857-4 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789855038574.html>

4. Афонский А.А. Измерительные приборы и массовые электронные измерения [Электронный ресурс] / А.А. Афонский, В.П. Дьяконов - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. - 544 с. - ISBN 5-98003-290-8 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5980032908.html>

в) Методические рекомендации/указания:

1. Конспект лекций по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника». Лекции №№ 1-5 / Сост.: В.А. Войтенко, Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2013. – 36с.

2. Конспект лекций по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника». Лекции №№ 6-10 / Сост.: В.А. Войтенко, Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2013. – 32 с.

3. Конспект лекций по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника». Лекции №№ 11-14 / Сост.: В.А. Войтенко, Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2013. – 37 с.

4. Конспект лекций по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника». Лекции №№ 15-21 / Сост.: В.А. Войтенко, Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2013. – 31 с.

5. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника» (для студентов, обучающихся по направлению 11.03.04 “Электроника и нанoeлектроника”, профиль 11.03.04.02 “Электронные приборы и устройства”) / Сост.: В.А. Войтенко, Г.О. Войтенко. – Луганск: Изд-во ГОУВПО ЛНР «Луганский государственный университет им. В. Даля», 2016. – 45 с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Далевский педагогический портал – <http://ped.dahluniver.ru/>

### **Электронные библиотечные системы и ресурсы**

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Университетская библиотека On-line – <http://www.biblioclub.ru>

Научная электронная библиотека eLIBRARY – <http://elibrary.ru>

### **Информационный ресурс библиотеки образовательной организации**

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

### **Научные журналы**

"GNU Scientific Library" (GSL - библиотека для научных вычислений проекта GNU): <http://www.gnu.org/software/gsl>.

Система схемотехнического моделирования LTSpice IV. Краткое руководство: <http://zpostbox.ru/ltspice.html>.

Электронные компоненты: <http://www.elitan.ru/>.

Навигатор по профессиональным электронным ресурсам – [http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav\\_ei.htm](http://www.spsl.nsc.ru/win/nelbib/nav_ei.htm)

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекционные занятия проводятся с использованием комплекта электронных презентаций в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, ноутбук).

Лабораторные работы проводятся с использованием компьютеризированных лабораторных стендов, пакета специализированных компьютерных программ, а также компьютерной математической среды MATLAB и компьютерной среды для моделирования Multisim.

Рабочие места преподавателя и студентов в учебной лаборатории оснащены компьютерами с доступом в Интернет, предназначенными для работы в указанных специализированных компьютерных программах и средах.

Программное обеспечение:

<b>Функциональное назначение</b>	<b>Бесплатное программное обеспечение</b>	<b>Ссылки</b>

Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	<a href="https://www.libreoffice.org/">https://www.libreoffice.org/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice">https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice</a>
Операционная система	UBUNTU 19.04	<a href="https://ubuntu.com/">https://ubuntu.com/</a> <a href="https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu">https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu</a>
Браузер	Firefox Mozilla	<a href="http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx">http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx</a>
Браузер	Opera	<a href="http://www.opera.com">http://www.opera.com</a>
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	<a href="http://www.mozilla.org/ru/thunderbird">http://www.mozilla.org/ru/thunderbird</a>
Файл-менеджер	Far Manager	<a href="http://www.farmanager.com/download.php">http://www.farmanager.com/download.php</a>
Архиватор	7Zip	<a href="http://www.7-zip.org/">http://www.7-zip.org/</a>
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	<a href="http://www.gimp.org/">http://www.gimp.org/</a> <a href="http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8">http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8</a> <a href="http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP">http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP</a>
Редактор PDF	PDFCreator	<a href="http://www.pdfforge.org/pdfcreator">http://www.pdfforge.org/pdfcreator</a>
Аудиоплеер	VLC	<a href="http://www.videolan.org/vlc/">http://www.videolan.org/vlc/</a>

## 8. Оценочные средства по дисциплине

### Паспорт

фонда оценочных средств по учебной дисциплине

«Квантовая и оптическая электроника»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ПК-8	Способен к эксплуатации измерительного, диагностического, технологического оборудования	ПК-8.1. ПК-8.2. ПК-8.3.	Тема 1 Коэффициенты Эйнштейна	1
				Тема 2 Ширина линии	1
				Тема 3 Усиление	1
				Тема 4 Коэффициент Эйнштейна и матричный элемент	1

				матрицы перехода	
				Тема 5 Лазеры-усилители	1
				Тема 6 Генерация	1
				Тема 7 Открытые резонаторы	1
				Тема 8 Гауссовы пучки	1
				Тема 9 Устойчивость резонаторов	1
				Тема 10 Неустойчивые резонаторы	1
				Тема 11 Синхронизация мод	1
				Тема 12 История квантовой электроники. Основные формулы	1
				Тема 13 Газовые лазеры. Гелий-неоновый лазер	1
				Тема 14 Ионные лазеры. Лазеры на парах металлов	1
				Тема 15 СО-лазеры	1
2.	ПК-10	Способен осуществлять эксплуатацию и обслуживание приборов электроники и наноэлектроники	ПК-10.1. ПК-10.2. ПК-10.3.	Тема 1 Коэффициенты Эйнштейна	1
				Тема 2 Ширина линии	1
				Тема 3 Усиление	1
				Тема 4 Коэффициент Эйнштейна и матричный элемент матрицы перехода	1
				Тема 5 Лазеры-усилители	1
				Тема 6 Генерация	1

				Тема 7 Открытые резонаторы	1
				Тема 8 Гауссовы пучки	1
				Тема 9 Устойчивость резонаторов	1
				Тема 10 Неустойчивые резонаторы	1
				Тема 11 Синхронизация мод	1
				Тема 12 История квантовой электроники. Основные формулы	1
				Тема 13 Газовые лазеры. Гелий-неоновый лазер	1
				Тема 14 Ионные лазеры. Лазеры на парах металлов	1
				Тема 15 СО-лазеры	1

**Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания**

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижения компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-8	ПК-8.1. ПК-8.2. ПК-8.3.	Знать: методы измерения и синтеза наноструктур; основы кремниевой одноэлектроники и функциональные возможности электронного оборудования; функциональные возможности микро- и	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9, Тема 10, Тема 11,	Контрольные вопросы к лекциям, вопросы к лабораторным работам, вопросы к зачету, тесты

			<p>нанoeлектромеханических систем;  Уметь: осуществлять метрологическое обеспечение технологических и измерительных процессов при производстве наночастиц;  использовать методы измерения и исследования наночастиц;  анализировать цифровые отображения наночастиц;  Владеть: навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования в инженерной практике, связанной с изготовлением, выбором и эксплуатацией приборов и устройств нанoeлектроники;</p>	<p>Тема 12,  Тема 13,  Тема 14,  Тема 15</p>	
2.	ПК-10	ПК-10.1. ПК-10.2. ПК-10.3.	<p>Знать: принципы эксплуатации и обслуживания приборов электроники и нанoeлектроники основанных на индуцированных переходах, поглощении и усилении, устойчивости линзовых световодов, генерации излучения в нескольких продольных модах, активной и пассивной синхронизации, самосинхронизации, квантовой природе света, индуцированном излучении; устройство, принципы действия, особенности работы и обслуживания резонаторов разных типов;</p>	<p>Тема 1,  Тема 2,  Тема 3,  Тема 4,  Тема 5,  Тема 6,  Тема 7,  Тема 8,  Тема 9,  Тема 10,  Тема 11,  Тема 12,  Тема 13,  Тема 14,  Тема 15</p>	<p>Контрольные вопросы к лекциям,  вопросы к лабораторным работам,  вопросы к зачету,  тесты</p>

			<p>Уметь: осуществлять эксплуатацию приборов электроники и наноэлектроники основанную на применении оптических резонаторов;</p> <p>Владеть: навыками обслуживания электронных устройств квантовой и оптической электроники; навыками проведения измерений, контроля и обслуживания с использованием цифрового осциллографа; навыками представления результатов поверочных работ.</p>		
--	--	--	--	--	--

### **Фонды оценочных средств по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника»**

#### **Контрольные вопросы к лабораторным работам:**

1. Дайте определение квантовой электроники.
2. Какие переходы называют индуцированными? Спонтанными?
3. Что подразумевают под когерентностью индуцированного излучения?
4. Запишите и поясните соотношение неопределенностей.
5. Какова вероятность индуцированных переходов?
6. Что значит однородные и неоднородные уширения?
7. Что такое активная среда?
8. Какими свойствами должна обладать активная среда для использования в АОС?
9. Что общее и чем отличаются понятия «лазерный проекционный микроскоп» и «лазерный монитор»?
10. Назовите активные среды, которые могут применяться в усилителях яркости?
11. Поясните понятие «сверхизлучение».
12. Как на практике определить коэффициент усиления активной среды?
13. От чего зависит площадь наблюдаемой области объекта?
14. Чем ограничено максимальное расстояние от активного элемента до экрана?
15. Каково должно быть спектральное распределение фоновой засветки, чтобы наблюдение с помощью лазерного монитора на основе активной среды  $\text{CuBr}$  стало затруднительным?

16. Какую максимальную скорость съемки могут обеспечить активные среды на парах металлов?
17. Что будет наблюдаться на экране при наблюдении по п.6 программы работы, если на свечу направить слабый поток воздуха?
18. Почему выходные окна активного элемента расположены под углом к оптической оси?
19. Как будет отличаться изображение на экране, если одно из выходных окон активного элемента расположить перпендикулярно оптической оси?
20. Что называют сечением поглощения?
21. В чем суть эффекта насыщения?
22. Как рассчитывают плотность потока энергии насыщенного излучения?
23. Что такое энергия насыщения?
24. Запишите и поясните формулы для волновых функций стационарных состояний.
25. Запишите и поясните уравнение Шредингера при наличии возмущений.
26. Каково первое приближение теории возмущений?
27. Какова полоса пропускания усилителя бегущей волны?
28. Каковы причины шума квантового усилителя?
29. Какова максимальная выходная мощность квантового усилителя?
30. Как изменяется форма импульса при нелинейном усилении?
31. Как устроен открытый резонатор? Какова его добротность?
32. Как происходит регенерация резонатора при усилении?
33. Каково устройство и принцип действия проходного резонаторного усилителя?
34. Каково устройство и принцип действия отражательного усилителя?
35. Назовите условия для самовозбуждения.
36. Назовите условия резонанса.
37. От чего зависит частота генерации?
38. Максимальная выходная мощность.
39. Как используют резонаторы в электронике?
40. Почему происходит падение добротности и сгущение резонансов замкнутых объемов?
41. Что означает число Френеля?
42. Что понимают под модой?
43. Каково время жизни моды пассивного резонатора?
44. Опишите и поясните метод Фокса и Ли.
45. Запишите и поясните интегральное уравнение открытого резонатора.
46. Каково устройство и принцип действия конфокального резонатора?
47. Что такое гауссовы пучки?
48. От чего зависит размер пятна?
49. Чем объясняется расходимость излучения?
50. От чего зависит радиус кривизны волнового фронта?
51. От чего зависит устойчивость линзовых световодов?
52. Каково устройство и принцип действия световодов с одинаковыми линзами?

53. Каково устройство и принцип действия световода с чередующимися линзами с различными фокусными расстояниями?
54. Сформулируйте условие устойчивости.
55. Опишите и поясните диаграмму устойчивости.
56. От чего зависят потери на излучение?
57. Каково устройство и принцип действия симметричного резонатора?
58. Каково устройство и принцип действия телескопического резонатора?
59. Каков смысл эквивалентного числа Френеля?
60. Как происходит селекция продольных мод?
61. Как происходит генерация излучения в нескольких продольных модах?
62. От чего зависит нерегулярный характер спектра генерации?
63. По какой причине происходит затягивание мод?
64. Как происходит синхронизация мод?
65. Что значит активная и пассивная синхронизация?
66. Что значит самосинхронизация?
67. В чем суть квантовой природы света?
68. Что такое индуцированное излучение?
69. Что такое бозоны?
70. Каково устройство и принцип действия первого мазера?
71. Каковы особенности газообразной среды?
72. Перечислите основные методы возбуждения.
73. Что такое оптическая накачка?
74. Как происходит резонансная передача энергии возбуждения при столкновениях?
75. Приведите и поясните схему уровней.
76. Как происходит передача энергии возбуждения?
77. Как устроен аргоновый лазер?
78. Как происходит двухступенчатое возбуждение?
79. Как устроен гелий-кадмиевый лазер?
80. Как устроен медный лазер?
81. На чем основана работа молекулярных лазеров?
82. Перечислите основные требования к рабочему веществу мощных газовых лазеров.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к лабораторным работам

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемый вопрос, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности)

3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией)
2	Ответ представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов отвечать)

### **Контрольные вопросы к лекциям:**

1. Определение квантовой электроники.
2. Индуцированные и спонтанные переходы.
3. Когерентность индуцированного излучения.
4. Соотношение неопределенностей.
5. Ларинцева форма линии.
6. Вероятность индуцированных переходов.
7. Однородные и неоднородные уширения.
8. Гауссова форма линии.
9. Поглощение и усиление.
10. Активная среда.
11. Сечение поглощения.
12. Эффект насыщения.
13. Плотность потока энергии насыщенного излучения.
14. Импульсный режим.
15. Энергия насыщения.
16. Волновые функции стационарных состояний.
17. Уравнение Шредингера при наличии возмущений.
18. Первое приближение теории возмущений.
19. Суперпозиция волновых функций стационарных состояний.
20. Усиление и генерация.
21. Полоса пропускания усилителя бегущей волны.
22. Шум квантового усилителя.
23. Максимальная выходная мощность.
24. Импульсный режим, максимальная выходная энергия.
25. Изменение формы импульса при нелинейном усилении.
26. Открытый резонатор и его добротность.
27. Регенерация резонатора при усилении.
28. Пропускной резонаторный усилитель.
29. Отражательный усилитель.
30. Условия для самовозбуждения.
31. Условия резонанса.
32. Частота генерации.
33. Максимальная выходная мощность.
34. Резонаторы в электронике.
35. Переход к коротким волнам.
36. Падение добротности и сгущение резонансов замкнутых объемов.
37. Открытые резонаторы, прореживание спектра.
38. Число Френеля.

39. Моды.
40. Время жизни моды пассивного резонатора.
41. Дифракционные потери. метод Фокса и Ли.
42. Интегральное уравнение открытого резонатора.
43. Конфокальный резонатор.
44. Распределение поля.
45. Гауссовы пучки.
46. Размер пятна.
47. Расходимость излучения.
48. Радиус кривизны волнового фронта.
49. Устойчивость линзовых световодов.
50. Световоды с одинаковыми линзами.
51. Световод с чередующимися линзами с различными фокусными расстояниями.
52. Условие устойчивости.
53. Диаграмма устойчивости.
54. Геометро-оптическое рассмотрение.
55. Коэффициент увеличения.
56. Потери на излучение.
57. Симметричный резонатор.
58. Телескопический резонатор.
59. Эквивалентное число Френеля.
60. Селекция продольных мод.
61. Генерация излучения в нескольких продольных модах.
62. Нерегулярный характер спектра генерации.
63. Затягивание мод.
64. Синхронизация мод.
65. Длительность и период следования импульсов при синхронизации мод.
66. Активная и пассивная синхронизация.
67. Самосинхронизация.
68. История возникновения квантовой электроники.
69. Квантовая природа света.
70. Индуцированное излучение.
71. Бозоны. Эйнштейн. Дирак.
72. Первый мазер.
73. Радио и оптика.
74. Радиоспектроскопия.
75. Особенности газообразной среды.
76. Основные методы возбуждения.
77. Электрический разряд.
78. Оптическая накачка.
79. Резонансная передача энергии возбуждения при столкновениях. Схема уровней.
80. Передача энергии возбуждения.
81. Аргоновый лазер. Схема уровней.
82. Двухступенчатое возбуждение.

- 83. Зависимость от тока разряда.
- 84. Гелий-кадмиевый лазер.
- 85. Медный лазер.
- 86. Молекулярные лазеры.
- 87. Требования к рабочему веществу мощных газовых лазеров.
- 88. Колебательные спектры молекул.
- 89. Механизм инверсии. Роль гелия и азота.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольные вопросы к лекциям

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответы представлены на высоком уровне (студент в полном объеме осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 90-100% вопросов)
4	Ответы представлены на среднем уровне (студент в целом осветил рассматриваемые вопросы, привел аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности, правильные ответы даны на 75-89% вопросов)
3	Ответы представлены на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени соответствующей научной терминологией, правильные ответы даны на 50-74% вопросов)
2	Ответы представлены на неудовлетворительном уровне или не представлены (студент не готов отвечать или правильные ответы даны менее чем на 50% вопросов)

### Тесты:

1. Лазеры существенно отличаются от обычных источников света:
  - А) широкой направленностью излучения;
  - Б) монохроматичностью излучения;
  - В) высоким уровнем шумов.
  
2. Для усиления излучения в квантовой электронике используется эффект:
  - А) Эйнштейна;
  - Б) поглощения падающего излучения;
  - В) индуцированного испускания излучения.
  
3. Наличие шумов в квантовой системе обусловлено:
  - А) спонтанными переходами;
  - Б) индуцированными переходами;
  - В) безызлучательными релаксационными переходами.
  
4. Когерентность излучения обусловлена:
  - А) спонтанными переходами;
  - Б) индуцированными переходами;

В) безызлучательными релаксационными переходами.

5. Уровни энергии реальной квантовой системы имеют ширину:

А) конечную;

Б) бесконечную;

В) нулевую.

6. Для усиления необходимо:

А) одинаковая заселенность уровней квантовой системы;

Б) минимальная заселенность уровней квантовой системы.

В) инверсная заселенность уровней квантовой системы.

7. Фактор насыщения – величина, обратная:

А) интенсивности насыщения;

Б) времени релаксации;

В) интенсивности облучения.

#### Критерии и шкала оценивания по оценочному средству тесты

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Тесты выполнены на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% тестов)
4	Тесты выполнены на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% тестов)
3	Тесты выполнены на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% тестов)
2	Тесты выполнены на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50% тестов)

#### Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет)

1. Индуцированные и спонтанные переходы.
2. Когерентность индуцированного излучения.
3. Однородные и неоднородные уширения.
4. Поглощение и усиление.
5. Активная среда.
6. Сечение поглощения.
7. Эффект насыщения.
8. Плотность потока энергии насыщенного излучения.
9. Первое приближение теории возмущений.
10. Суперпозиция волновых функций стационарных состояний.
11. Усиление и генерация.
12. Полоса пропускания усилителя бегущей волны.
13. Шум квантового усилителя.
14. Изменение формы импульса при нелинейном усилении.

15. Открытый резонатор и его добротность.
16. Регенерация резонатора при усилении.
17. Пролодной резонаторный усилитель.
18. Отражательный усилитель.
19. Резонаторы в электронике.
20. Открытые резонаторы, прореживание спектра.
21. Дифракционные потери. Метод Фокса и Ли.
22. Интегральное уравнение открытого резонатора.
23. Конфокальный резонатор.
24. Радиус кривизны волнового фронта.
25. Устойчивость линзовых световодов.
26. Световоды с одинаковыми линзами.
27. Световод с чередующимися линзами с различными фокусными расстояниями.
28. Симметричный резонатор.
29. Телескопический резонатор.
30. Селекция продольных мод.
31. Генерация излучения в нескольких продольных модах.
32. Нерегулярный характер спектра генерации.
33. Активная и пассивная синхронизация.
34. Самосинхронизация.
35. Радиоспектроскопия.
36. Аргоновый лазер. Двухступенчатое возбуждение.
37. Гелий-кадмиевый лазер.
38. Медный лазер.
39. Молекулярные лазеры.
40. Требования к рабочему веществу мощных газовых лазеров.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (зачет)

Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	зачтено
Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и	

<p>навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.</p>	
<p>Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы</p>	<p>не зачтено</p>

## Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)