

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»  
(ТУСУР)



УТВЕРЖДАЮ

Директор департамента образования

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Квантовая и оптическая электроника**

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**

Направление подготовки / специальность: **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника**

Форма обучения: **заочная (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий)**

Факультет: **ФДО, Факультет дистанционного обучения**

Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**

Курс: **3**

Семестр: **6**

Учебный план набора 2015 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	6 семестр	Всего	Единицы
1	Самостоятельная работа под руководством преподавателя	12	12	часов
2	Контроль самостоятельной работы	2	2	часов
3	Всего контактной работы	14	14	часов
4	Самостоятельная работа	126	126	часов
5	Всего (без экзамена)	140	140	часов
6	Подготовка и сдача зачета	4	4	часов
7	Общая трудоемкость	144	144	часов
			4.0	З.Е.

Контрольные работы: 6 семестр - 1

Зачет: 6 семестр

Томск 2018

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 12.03.2015 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭП « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ года, протокол № \_\_\_\_.

### Разработчики:

доцент каф. ТЭО \_\_\_\_\_ Ю. В. Морозова

доцент каф. ЭП \_\_\_\_\_ В. И. Быков

Заведующий обеспечивающей каф.  
ЭП

\_\_\_\_\_ С. М. Шандаров

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФДО \_\_\_\_\_ И. П. Черкашина

Заведующий выпускающей каф.  
ПрЭ \_\_\_\_\_ С. Г. Михальченко

### Эксперты:

Доцент кафедры технологий  
электронного обучения (ТЭО) \_\_\_\_\_ Ю. В. Морозова

Профессор кафедры электронных  
приборов (ЭП) \_\_\_\_\_ Л. Н. Орликов

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Цель дисциплины состоит в формировании у студентов представлений о фундаментальных основах квантовой и оптической электроники, которая является важным компонентом профессионального блока подготовки бакалавров по направлению "электроника и наноэлектроника".

### 1.2. Задачи дисциплины

- изучение и освоение студентами современных подходов и методов, используемых для анализа и описания явлений квантовой и оптической электроники;
- изучение базовых принципов квантовой и оптической электроники;
- изучение основных принципов построения и реализации устройств квантовой и оптической электроники, рассмотрение примеров конкретных устройств, технологических подходов к их изготовлению и использованию в технологических приложениях.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Квантовая и оптическая электроника» (Б1.Б.19) относится к блоку 1 (базовая часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Материалы электронной техники, Метрология и технические измерения, Физика.

Последующими дисциплинами являются: Энергетическая электроника.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-5 способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;
- ПК-2 способностью аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** фундаментальные принципы квантовой и оптической электроники; основные линейные и нелинейные явления квантовой и оптической электроники и методы их описания; принципы функционирования квантовых и оптоэлектронных приборов и систем.
- **уметь** применять математические методы, физические законы и вычислительную технику для решения практических задач; проводить измерения, обрабатывать и представлять результаты;
- **владеть** современными подходами и методами анализа и описания линейных и нелинейных эффектов квантовой и оптической электроники.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		6 семестр
Контактная работа (всего)	14	14
Самостоятельная работа под руководством преподавателя (СРП)	12	12
Контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2
Самостоятельная работа (всего)	126	126
Подготовка к контрольным работам	12	12

Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	114	114
Всего (без экзамена)	140	140
Подготовка и сдача зачета	4	4
Общая трудоемкость, ч	144	144
Зачетные Единицы	4.0	

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	СРП, ч	КСР, ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
6 семестр					
1 Описание квантовых ансамблей	4	2	28	32	ОПК-5, ПК-2
2 Общие вопросы построения лазеров	4		58	62	ОПК-5, ПК-2
3 Интегральная оптоэлектроника	4		40	44	ОПК-5, ПК-2
Итого за семестр	12	2	126	140	
Итого	12	2	126	140	

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (самостоятельная работа под руководством преподавателя)

Содержание разделов дисциплин (самостоятельная работа под руководством преподавателя) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (самостоятельная работа под руководством преподавателя)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (самостоятельная работа под руководством преподавателя)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
6 семестр			
1 Описание квантовых ансамблей	Принципы усиления света. Описание квантовых ансамблей в состоянии теплового равновесия и в процессе релаксации. Матрица плотности. Балансные уравнения.	4	ОПК-5, ПК-2
	Итого	4	
2 Общие вопросы построения лазеров	Элементарная теория резонаторов. Селекция мод. Расходимость пучка Когерентность. Однородное и неоднородное уширение спектральной линии. Твердотельный лазер. Режимы работы. Газовый лазер.	4	ОПК-5, ПК-2

	Итого	4	
3 Интегральная оптоэлектроника	Планарные оптические волноводы. Классификация оптических волноводов. Эффективная толщина волновода. Полосковые волноводы.	4	ОПК-5, ПК-2
	Итого	4	
Итого за семестр		12	

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин		
	1	2	3
Предшествующие дисциплины			
1 Материалы электронной техники	+	+	+
2 Метрология и технические измерения	+	+	
3 Физика	+	+	
Последующие дисциплины			
1 Энергетическая электроника	+	+	

### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенци и	Виды занятий			Формы контроля
	СРП	КСР	Сам. раб.	
ОПК-5	+	+	+	Контрольная работа, Проверка контрольных работ, Зачет, Тест
ПК-2	+	+	+	Контрольная работа, Проверка контрольных работ, Зачет, Тест

### 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

### 7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

### 8. Контроль самостоятельной работы

Виды контроля самостоятельной работы приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Виды контроля самостоятельной работы

№	Вид контроля самостоятельной работы	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции
6 семестр			
1	Контрольная работа с автоматизированной проверкой	2	ОПК-5, ПК-2
Итого		2	

### 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
6 семестр				
1 Описание квантовых ансамблей	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	24	ОПК-5, ПК-2	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	28		
2 Общие вопросы построения лазеров	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	54	ОПК-5, ПК-2	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	58		
3 Интегральная оптоэлектроника	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	36	ОПК-5, ПК-2	Зачет, Контрольная работа, Тест
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	40		
	Выполнение контрольной работы	2	ОПК-5, ПК-2	Контрольная работа
Итого за семестр		126		
	Подготовка и сдача зачета	4		Зачет
Итого		130		

### 10. Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа)

Не предусмотрено РУП.

## **11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся**

Рейтинговая система не используется.

## **12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **12.1. Основная литература**

1. Быков В. И. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / автор-сост. В. И. Быков. – Томск ФДО, ТУСУР, 2016. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library/> (дата обращения: 08.08.2018).

### **12.2. Дополнительная литература**

1. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Шангина Л. И. - 2012. 303 с. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library/> (дата обращения: 08.08.2018).

2. Введение в квантовую и оптическую электронику [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Башкиров А. И., Шандаров С. М. - 2012. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library/> (дата обращения: 08.08.2018).

### **12.3. Учебно-методические пособия**

#### **12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия**

1. Быков В.И. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: методические указания по организации самостоятельной работы для студентов заочной формы обучения технических направлений, обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий / В. И. Быков, С. М. Шандаров. – Томск ФДО, ТУСУР, 2018. Доступ из личного кабинета студента. - Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library/> (дата обращения: 08.08.2018).

2. Быков В.И. Квантовая и оптическая электроника : электронный курс / В. И. Быков. – Томск ТУСУР, ФДО, 2018. Доступ из личного кабинета студента.

#### **12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

##### **Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

##### **Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

##### **Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### **12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh> (со свободным входом).

## **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение**

### **13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины**

#### **13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

Кабинет для самостоятельной работы студентов  
учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и

промежуточной аттестации, помещение для самостоятельной работы  
634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Коммутатор MicroTeak;
- Компьютер PENTIUM D 945 (3 шт.);
- Компьютер GELERON D 331 (2 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- 7-zip
- Google Chrome
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
- Microsoft Windows
- OpenOffice

### **13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы**

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### **13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для



людей с инвалидностью.

## 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### 14.1.1. Тестовые задания

1. Одномерное волновое уравнение для напряженности электрического поля имеет вид:

а)  $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = 0;$

б)  $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0;$

в)  $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \frac{1}{\varepsilon\mu} \nabla^2 \vec{E} = 0;$

г)  $\nabla^2 \vec{E} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0;$

2. Световое излучение имеет частоту  $\nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ . Волновое число данной волны при распространении в вакууме ( $k_0$ ) и немагнитной среде ( $k_1$ ) при значении диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_r = 16$ :

а)  $k_0 = 12,6 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}; k_1 = 50,2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1};$

б)  $k_0 = 12,6 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}; k_1 = 50,2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1};$

в)  $k_0 = 50 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}; k_1 = 21,2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1};$

г)  $k_0 = 32 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}; k_1 = 128 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}.$

3. Световая волна, распространяющаяся в среде, имеет амплитуды напряженности электрического поля  $E_m = 500 \text{ В/м}$  и магнитного поля  $H_m = 0,1 \text{ А/м}$ . Волновое сопротивление среды  $W$  составляет:

а) 1000 Ом;

б) 5000 Ом;

в) 10000 Ом;

г) 1 Ом.

4. Вектор состояния представляет собой:

а) строчную матрицу коэффициентов  $\|C_1 C_2 C_3, \dots\|$  и обозначается символом  $|\psi\rangle$ ;

б) столбовую матрицу коэффициентов  $\begin{vmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ \vdots \end{vmatrix}$  и обозначается символом  $|\psi\rangle$ ;

в) строчную матрицу коэффициентов  $\|C_1^* C_2^* C_3^*, \dots\|$  и обозначается символом  $\langle\psi|$ ;

г) столбовую матрицу коэффициентов  $\begin{vmatrix} C_1^* \\ C_2^* \\ C_3^* \\ \vdots \\ \vdots \end{vmatrix}$  и обозначается символом  $\langle\psi|$ .

5. Коэффициенты Эйнштейна для поглощения и индуцированного излучения  $B_{12}$  и  $B_{21}$  связаны как:

а.  $g_1 B_{12} = g_2 B_{21}$

б.  $B_{12}/g_1 = B_{21}/g_2$

в.  $B_{12} = \rho_\nu B_{21}$

г.  $B_{21} = \rho_\nu B_{12}$

6. Вероятность индуцированного излучения с учётом формы линии при  $\rho(\nu) = \rho \delta(\nu - \nu_0)$  :

а.  $W_u = B_{21} \rho$

б.  $W_u = A_{21} \rho S(\nu_0)$

в.  $W_u = B_{21} \rho S(\nu_0)$

г.  $W_u = A_{21} \rho$

7. В состоянии, близком к термодинамическому равновесию, величина мощности  $\Delta P$ , поглощаемой квантовой системой при росте интенсивности падающего излучения с частотой  $\nu_{21}$ :

а. не изменяется;

б. возрастает и насыщается;

в. возрастает;

г. возрастает линейно

8. В ансамбле частиц с двумя уровнями энергии (первоначально находящимся в состоянии термодинамического равновесия), при оптической накачке инверсию населённостей:

а. можно создать при малых плотностях энергии накачки  $\rho$

б. можно создать при больших  $\rho$

в. можно создать при любых  $\rho$

г. создать невозможно в принципе

9. Диагональный элемент матрицы плотности  $\rho_{nn}$  :

а) не имеет физического смысла;

б) определяет вероятность нахождения системы в  $n$ -состоянии  $\rho_{nn} = \frac{N_n}{N}$ ;

в) определяет вероятность перехода системы в  $n$ -состояние  $\rho_{nn} = \sum_{k \neq n} W_{kn}$ ;

г) определяет число частиц в системе в  $n$ -состоянии  $\rho_{nn} = N_n$ .

10. Термостатированный ансамбль имеет два энергетических уровня и находится в состоянии релаксации. Уравнение, описывающее эволюцию недиагонального элемента  $\rho_{12}(t)$  имеет вид:

а)  $\rho_{12} = C \exp \left[ -i \left( \omega_{12} + \frac{1}{\tau_{12}} \right) t \right]$ ;

б)  $\rho_{12} = C \exp \left( \frac{t}{\tau_{12}} \right) \exp(i\omega_{12}t)$ ;

в)  $\rho_{12} = C \exp \left( -\frac{\tau_{12}}{t} \right) \exp(-i\omega_{21}t)$ ;

г)  $\rho_{12} = C_{12} \exp \left( -\frac{t}{\tau_{12}} \right) \exp(i\omega_{21}t)$ .

11. Двухуровневая система частиц имеет частоту перехода между уровнями  $\omega_{21} = \frac{2kT}{\hbar}$  и вероятность теплового перехода  $\Gamma_{21} = 2c^{-1}$ . Вероятность теплового перехода  $\Gamma_{12}$  :

а)  $\Gamma_{12} = 0,74 c^{-1}$ ;

б)  $\Gamma_{12} = 0,32 c^{-1}$ ;

в)  $\Gamma_{12} = 0,27 c^{-1}$ ;

г)  $\Gamma_{12} = 0,09 c^{-1}$ .

12. Из экспериментов по измерению частотной зависимости поглощения некоторым веществом получено, что она описывается кривой Лоренца, причем поглощаемая мощность на резонансной частоте составляет  $10 \text{ мкВт}$ , а на частоте, отличающейся от резонансной на  $159 \text{ МГц}$ , уменьшается до  $5 \text{ мкВт}$ . Время релаксации исследуемого вещества, соответствующее наблюдаемому резонансному переходу составляет:

а)  $\tau = 5.37 \text{ нс}$ ; б)  $\tau = 2.74 \text{ нс}$ ; в)  $\tau = 7.22 \text{ мкс}$ ; г)  $\tau = 6.29 \text{ нс}$ .

14. Поглощение электромагнитного излучения двухуровневой системой в случае слабого поля будет:

- а) прямо пропорционально падающей мощности;
- б) нелинейно зависеть от падающей мощности;
- в) зависеть нелинейно от падающей мощности с насыщением.

15. Зависимость поглощения электромагнитного поля от частоты двухуровневой системы описывается кривой:

- а) Лоренца;
- б) Гаусса;
- в) Эйлера;
- г) Лагранжа.

16. Аббревиатура ТЕМ служит для обозначения:

- а. продольной электромагнитной волны
- б. поперечной электромагнитной волны
- в. продольной моды резонатора

17. Переход от закрытого объемного СВЧ-резонатора к открытому оптическому резонатору приводит:

- а. только к сгущению спектра собственных колебаний,
- б. только к прореживанию спектра собственных колебаний,
- в. к сгущению спектра собственных колебаний и возрастанию  $\Delta\nu$
- г. к прореживанию спектра собственных колебаний и возрастанию  $\Delta\nu$

18. Коэффициент поглощения излучения в активной среде составляет  $k_\lambda = 0.01 \text{ см}^{-1}$ . Во сколько раз изменится интенсивность излучения при прохождении пути длиной  $l = 50 \text{ см}$ .

- а)  $\frac{I}{I_0} = 0.9$ ;
- б)  $\frac{I}{I_0} = 0.8$ ;
- в)  $\frac{I}{I_0} = 0.7$ ;
- г)  $\frac{I}{I_0} = 0.6$ .

19. Аббревиатура «ТЕА» служит для обозначения лазера:

- а) лазер с поперечным разрядом и добавками аргона
- б) лазер с поперечной электромагнитной волной
- в) лазер атмосферного давления с поперечным разрядом
- г) лазер с поперечным разрядом и добавками азота

20. Механизмом накачки в He-Ne лазере является:

- а) процесс передачи энергии и заряда от  $\text{He}^+$  атому Ne
- б) процесс передачи энергии от  $\text{He}_m$  атому Ne
- в) возбуждение атомов неона электронным ударом
- г) поглощение квантов света

#### 14.1.2. Зачёт

1. В электромагнитной волне величины напряженностей электрического и магнитного полей связаны уравнением:

- а)  $H_m = E_m$ ;
- б)  $H_m = W \cdot E_m$ ;
- в)  $H_m = \frac{E_m}{W}$ ;
- г)  $H_m = \int E_m dW$ .

2. Объёмная спектральная плотность энергии излучения абсолютно чёрного тела  $\rho_\nu$  связана с частотой  $\nu$  и температурой  $T$  как:

$$a. \rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2 \cdot h\nu B_{21}}{c^3}$$

$$б. \rho_\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \left( e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)^{-1}$$

$$в. \rho_\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3}$$

3. Контур коэффициента усиления однородно уширенной линии при росте интенсивности падающего излучения:

- а. насыщается с образованием провала;
- б. насыщается и “проседает” равномерно во всей полосе частот;
- в. не изменяется;
- г. насыщается с образованием двух симметричных провалов.

4. Для лазера с длиной резонатора 15 см, генерирующего в режиме синхронизации 40 продольных мод, длительность импульса и их период повторения составляют:

- а)  $\tau = 5 \cdot 10^{-12} \text{ с}, T = 10 \text{ нс}$ ;
- б)  $\tau = 2.5 \cdot 10^{-12} \text{ с}, T = 5 \text{ нс}$ ;
- в)  $\tau = 5 \cdot 10^{-11} \text{ с}, T = 2.5 \text{ нс}$ ;
- г)  $\tau = 2.5 \cdot 10^{-11} \text{ с}, T = 1 \text{ нс}$ .

5. Длина волны  $\lambda$  излучения, полученного при сложении основной частоты ( $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ ) и удвоенной частоты ИАГ, Nd<sup>3+</sup>-лазера:

- а)  $\lambda = 0,355 \text{ мкм}$
- б)  $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$
- в)  $\lambda = 0,53 \text{ мкм}$
- г)  $\lambda = 0,265 \text{ мкм}$

6. Тип лазерного перехода в CO<sub>2</sub> лазере:

- а) электронный
- б) колебательно-вращательный
- в) между уровнями сверхтонкой структуры (СТС) атомов
- г) между уровнями тонкой структуры (ТС) атомов

7. Для CO<sub>2</sub> лазера требование к времени охлаждения газа ( $t$ ) при тепловой накачке для создания инверсии на лазерном переходе ( $\tau_2$  и  $\tau_1$  – времена жизни уровней) будет:

- а)  $t < \tau_2$
- б)  $t \ll \tau_2$
- в)  $t > \tau_1$
- г)  $t \gg \tau_2$

8. Тип лазерного перехода в эксимерном лазере:

- а) электронный
- б) колебательно-вращательный
- в) между уровнями сверхтонкой структуры (СТС) атомов
- г) между уровнями тонкой структуры (ТС) атомов

9. Реакция передачи энергии возбуждения в He-Ne-лазере от метастабильного атома гелия атому неона происходит вследствие того, что:

- а)  $\tau(\text{He}_m) \ll \tau(\text{Ne}^*(2))$
- б)  $\tau(\text{He}_m) \gg \tau(\text{Ne}^*(2))$
- в) реакция экзотермическая
- г) реакция эндотермическая

10. Использование “медленной” прокачки газовой смеси в CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He-лазере позволяет повысить мощность:

- а) только за счет увеличения числа молекул CO<sub>2</sub> в нижнем лазерном состоянии
- б) только за счет уменьшения числа молекул CO<sub>2</sub> в нижнем лазерном состоянии
- в) за счет введения свежей смеси и уменьшения числа молекул CO<sub>2</sub> в нижнем лазерном состоянии

состоянии (для длинных трубок)

г) только за счет введения свежей смеси

11. Использование “быстрой” прокачки газовой смеси в  $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ -лазере позволяет повысить мощность за счёт:

а) за счет введения свежей смеси и уменьшения числа молекул  $\text{CO}_2$  в нижнем лазерном состоянии

б) только за счет увеличения числа молекул  $\text{CO}_2$  в нижнем лазерном состоянии

в) только за счет уменьшения числа молекул  $\text{CO}_2$  в нижнем лазерном состоянии

г) только за счет введения свежей смеси

12. Ширина запрещенной зоны арсенида галлия составляет  $1.370 \text{ эВ}$  при температуре  $300 \text{ К}$ .

Длина волны излучения полупроводникового лазера при данной температуре равна:

а)  $\lambda = 0.633 \text{ мкм}$ ;

б)  $\lambda = 907 \text{ нм}$ ;

в)  $\lambda = 1024 \text{ нм}$ ;

г)  $\lambda = 534 \text{ нм}$ .

13. Для полупроводникового лазера на GaAs с оптической накачкой и шириной запрещенной зоны арсенида галлия составляющей  $\Delta E = 1.370 \text{ эВ}$  необходимые значения длины волны лазерного излучения накачки составляют:

а)  $\lambda > 0.633 \text{ мкм}$ ; б)  $\lambda > 907 \text{ нм}$ ; в)  $\lambda < 907 \text{ нм}$ ; г)  $\lambda < 633 \text{ нм}$ .

14. Для пленочного планарного волновода из  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  с показателем преломления  $n_0 = 2.08$ , нанесенного на стеклянную подложку с показателем преломления  $n_1 = 1.51$ , и с воздушной покровной средой минимально необходимая толщина волноводного слоя для моды  $TE_2$ , возбуждаемой излучением с длиной волны  $\lambda = 633 \text{ нм}$  составляет:

а)  $\left(\frac{h}{\lambda}\right)_{\min} = 357 \text{ нм}$ ;

б)  $\left(\frac{h}{\lambda}\right)_{\min} = 432 \text{ нм}$ ;

в)  $\left(\frac{h}{\lambda}\right)_{\min} = 490 \text{ нм}$ ;

г)  $\left(\frac{h}{\lambda}\right)_{\min} = 535 \text{ нм}$ .

15. Волноводный слой в планарном волноводе ограничен в направлении  $x$ . Свет в волноводе распространяется вдоль оси  $z$ . Для  $TE$  – мод отличны от нуля компоненты поля:

а)  $E_x, E_y, H_z$ ;

б)  $E_x, H_y, H_z$ ;

в)  $E_y, H_x, H_z$ ;

г)  $E_x, E_z, H_y$ .

16. Условием для волноводного распространения света является соотношение показателей преломления пленки  $n_0$ , подложки  $n_1$  и покрывного материала  $n_2$ . Какое соотношение является верным:

а)  $n_0 > n_1, n_2$

б)  $n_1 > n_0, n_2$

в)  $n_2 < n_1, n_0$

г)  $n_0 < n_1, n_2$

17. Волноводы, ограниченные лишь в одном направлении, называются:

а) акустические

б) планарные

в) ступенчатые

г) полосковые

18. Для лазера на красителе изображенные на оси *частоты*:

а) полоса люминесценции (излучения) находится левее полосы его поглощения (оптической накачки)

б) полоса люминесценции находится правее полосы его поглощения

в) полоса поглощения и полоса люминесценции совпадают

19. Накачка активной среды жидкостного лазера на красителе, осуществляется:

а) облучением светом (оптическая накачка)

б) пропусканием через раствор электрического тока

в) перемешиванием раствора в кювете

20. В молекулярном лазере на углекислом газе расстояние между соседними колебательными уровнями молекул азота, используемого в качестве вспомогательного газа, составляет  $0.292 \text{ эВ}$ .

Максимально возможный коэффициент полезного действия (кпд), в пренебрежение всеми возможными потерями при генерации данного лазера на длине волны  $10.6 \text{ мкм}$  составляет:

а)  $\eta = 10\%$ ;

б)  $\eta = 20\%$ ;

в)  $\eta = 40\%$ ;

г)  $\eta = 60\%$ .

### 14.1.3. Темы контрольных работ

Квантовая и оптическая электроника

1. Какой закон излучения абсолютно чёрного тела не удается объяснить без использования гипотезы квантов?

а. Релея-Джинса

б. Стефана-Больцмана

в. Вина

г. Кирхгофа

2. Соотношение населённости уровней ( $N_1$  и  $N_2$ ) для среды, находящейся в состоянии термодинамического равновесия (уровень «1» – нижний и «2» – верхний):

а. 
$$\frac{N_1}{g_1} = \frac{N_2}{g_2} \exp\left\{-\frac{E_2 - E_1}{kT}\right\}$$

б. 
$$\frac{N_1}{g_1} = \frac{N_2}{g_2} \exp\frac{E_2 - E_1}{kT}$$

в. 
$$\frac{N_1}{g_1} = \frac{N_2}{g_2} \exp\frac{E_2 + E_1}{kT}$$

3. Термостатированный ансамбль имеет два энергетических уровня и находится в состоянии релаксации. Уравнение, описывающее эволюцию диагонального элемента  $\rho_{22}(t)$ , имеет вид:

а) 
$$\rho_{22}(t) = \left(\rho_{22}(0) - \frac{\Gamma_{12}}{\Gamma_{12} + \Gamma_{21}}\right) \exp(-[\Gamma_{12} + \Gamma_{21}]t) + \frac{\Gamma_{12}}{\Gamma_{12} + \Gamma_{21}};$$

б) 
$$\rho_{22}(t) = \left(\rho_{22}(0) - \frac{\Gamma_{21}}{\Gamma_{12} + \Gamma_{21}}\right) \exp(-[\Gamma_{12} + \Gamma_{21}]t) + \frac{\Gamma_{21}}{\Gamma_{12} + \Gamma_{21}};$$

в) 
$$\rho_{22}(t) = \left(\rho_{22}(0) - \frac{\Gamma_{12}}{\Gamma_{12} - \Gamma_{21}}\right) \exp(-[\Gamma_{12} - \Gamma_{21}]t) + \frac{\Gamma_{12}}{\Gamma_{12} - \Gamma_{21}};$$

г) 
$$\rho_{22}(t) = \left(\rho_{22}(0) - \frac{\Gamma_{21}}{\Gamma_{12} - \Gamma_{21}}\right) \exp(-[\Gamma_{12} - \Gamma_{21}]t) + \frac{\Gamma_{21}}{\Gamma_{12} - \Gamma_{21}}.$$

4. В неравновесной четырехуровневой системе с энергиями частиц на уровнях  $E_1 = 0 \text{ эВ}$ ,  $E_2 = 0.1 \text{ эВ}$ ,  $E_3 = 1.1 \text{ эВ}$ ,  $E_4 = 1.2 \text{ эВ}$  их населенности составляют

$N_1 = 1 \times 10^{22} \text{ м}^{-3}$ ,  $N_2 = 0.03 \times 10^{22} \text{ м}^{-3}$ ,  $N_3 = 0.5 \times 10^{22} \text{ м}^{-3}$ ,  $N_4 = 1 \times 10^{16} \text{ м}^{-3}$ . Длина волны светового излучения, которое будет усиливаться за счет индуцированных переходов между уровнями данной системы частиц составляет:

- а)  $\lambda = 621 \text{ нм}$ ;
- б)  $\lambda = 1.242 \text{ мкм}$ ;
- в)  $\lambda = 2.484 \text{ мкм}$ ;
- г)  $\lambda = 898 \text{ нм}$ .

5. В молекулярном лазере на углекислом газе расстояние между соседними колебательными уровнями молекул азота, используемого в качестве вспомогательного газа, составляет  $0.292 \text{ эВ}$ .

Максимально возможный коэффициент полезного действия (кпд), в пренебрежение всеми возможными потерями при генерации данного лазера на длине волны  $9.4 \text{ мкм}$  составляет:

- а)  $\eta = 40\%$ ;
- б)  $\eta = 45\%$ ;
- в)  $\eta = 50\%$ ;
- г)  $\eta = 55\%$ .

6. Для лазера на красителе изображенные на оси длин волн:

а) полоса поглощения (оптической накачки) и полоса люминесценции (излучения) совпадают

- б) полоса поглощения находится правее полосы его люминесценции
- в) полоса поглощения находится левее полосы его люминесценции

7. Для лазера на красителе изображенные на оси частоты:

а) полоса люминесценции (излучения) находится левее полосы его поглощения (оптической накачки)

- б) полоса люминесценции находится правее полосы его поглощения
- в) полоса поглощения и полоса люминесценции совпадают

8. Волноводы, ограниченные лишь в одном направлении, называются:

- а) акустические
- б) планарные
- в) ступенчатые
- г) полосковые

9. На какие типы подразделяются моды планарного волновода?

- а) ТН, ТА
- б) ТЕ, ТМ
- в) ТЕ, ТА
- г) ТА, ТМ

10. Чему соответствует минимальная толщина волновода?

- а)  $TE_0$  – моде
- б)  $TE_1$  - моде
- в)  $TM_0$  – моде
- г)  $TM_1$ - моде

#### 14.1.4. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

- чтение или просмотр материала необходимо осуществлять медленно, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;
- если в тексте встречаются термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;
- необходимо осмысливать прочитанное и изученное, отвечать на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия в форме вебинаров. Расписание вебинаров публикуется в кабинете студента на сайте Университета. Запись вебинара публикуется в электронном курсе по дисциплине.

#### **14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

#### **14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:



**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.