

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Владелец: Семенко Павел Васильевич

Действителен: с 17.09.2019 по 16.09.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**

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

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

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

Кафедра: **промышленной электроники (ПрЭ)**

Курс: **4**

Семестр: **8**

Учебный план набора 2024 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	8 семестр Всего Единицы		
Самостоятельная работа	128	128	часов
Самостоятельная работа под руководством преподавателя	10	10	часов
Контрольные работы	2	2	часов
Подготовка и сдача зачета	4	4	часов
Общая трудоемкость	144	144	часов
(включая промежуточную аттестацию)		4	з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр	Количество
Зачет	8	
Контрольные работы	8	1

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

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

1.2. Задачи дисциплины

1. Изучение и освоение студентами современных подходов и методов, используемых для анализа и описания явлений квантовой и оптической электроники.

2. Изучение базовых принципов квантовой и оптической электроники.

3. 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

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Часть блока дисциплин: Обязательная часть.

Модуль дисциплин: Модуль направления подготовки (special hard skills – SHS).

Индекс дисциплины: Б1.О.03.09.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1. Знает фундаментальные законы естественных наук и математики	Знает фундаментальные принципы квантовой и оптической электроники; основные линейные и нелинейные явления квантовой и оптической электроники и методы их описания
	ОПК-1.2. Умеет анализировать проблемы, процессы и явления в области физики, использовать на практике базовые знания и методы физических исследований, а также умеет применять методы решения математических задач в профессиональной области	Умеет применять математические методы, физические законы и вычислительную технику для решения практических задач
	ОПК-1.3. Владеет практическими навыками решения инженерных задач	Владеет методами обработки результатов измерений
Профессиональные компетенции		

ПК-3. Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ПК-3.1. Знает принципы конструирования отдельных аналоговых блоков электронных приборов	Знает фундаментальные принципы квантовой и оптической электроники; основные линейные и нелинейные явления квантовой и оптической электроники и методы их описания
	ПК-3.2. Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов	Умеет применять математические методы, физические законы и вычислительную технику для решения практических задач
	ПК-3.3. Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных электрических схем	Владеет навыками подготовки принципиальных схем лазеров различных типов

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		8 семестр
Контактная работа обучающихся с преподавателем, всего	12	12
Самостоятельная работа под руководством преподавателя	10	10
Контрольные работы	2	2
Самостоятельная работа обучающихся, всего	128	128
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	121	121
Подготовка к контрольной работе	7	7
Подготовка и сдача зачета	4	4
Общая трудоемкость (в часах)	144	144
Общая трудоемкость (в з.е.)	4	4

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Контр. раб.	СРП, ч.	Сам. раб., ч	Всего часов (без промежуточной аттестации)	Формируемые компетенции
8 семестр					

1 Описание электромагнитного излучения оптического диапазона	2	1	11	14	ОПК-1, ПК-3
2 Энергетические состояния квантовых систем		2	21	23	ОПК-1, ПК-3
3 Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом		2	21	23	ОПК-1, ПК-3
4 Общие вопросы построения лазеров		1	20	21	ОПК-1, ПК-3
5 твердотельные лазеры		1	19	20	ОПК-1, ПК-3
6 газовые лазеры. Другие типы лазеров		2	19	21	ОПК-1, ПК-3
7 интегральная оптоэлектроника		1	17	18	ОПК-1, ПК-3
Итого за семестр	2	10	128	140	
Итого	2	10	128	140	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины	СРП, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
1 Описание электромагнитного излучения оптического диапазона	Уравнения Максвелла в дифференциальной форме. Материальные уравнения. Граничные условия. Волновое уравнение для немагнитной среды. Одномерное волновое уравнение. Плоские скалярные волны. Плоская волна, распространяющаяся в произвольном направлении. Электромагнитные плоские волны. Поляризация плоских электромагнитных волн. Закон сохранения энергии для электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга. Распространение волновых пакетов. Групповая скорость.	1	ОПК-1, ПК-3
	Итого	1	
2 Энергетические состояния квантовых систем	Оптические спектры испускания. Элементарные процессы взаимодействия оптического излучения с веществом. Принцип квантового усиления электромагнитных волн. Описание квантовых ансамблей и процессов релаксации. Представления функции состояния. Операторы в произвольном представлении. Расчет средних и точных значений физических величин при использовании операторов в матричной форме. Смешанный ансамбль и матрица плотности. Уравнение движения для матрицы плотности смешанного ансамбля. Термостатированный ансамбль. Описание релаксации. Общее уравнение для матрицы плотности.	2	ОПК-1, ПК-3
	Итого	2	

3 Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом	Электрические и магнитные дипольные моменты и энергия взаимодействия микрочастиц с внешним полем. Двухуровневая система микрочастиц во внешнем поле. Основные уравнения. Вероятности индуцированных переходов. Анализ поглощения электромагнитного поля двухуровневой системой. Эффект насыщения. Спонтанные переходы. Балансные уравнения	2	ОПК-1, ПК-3
	Итого	2	
4 Общие вопросы построения лазеров	Особенности оптического диапазона. Усиление оптического излучения. Принцип действия лазера. Элементарная теория открытых оптических резонаторов. Добротность резонатора. Волновая теория открытых резонаторов. Классификация оптических резонаторов. Селекция типов колебаний в оптических резонаторах. Характеристики лазерного излучения. Уширение спектральных линий.	1	ОПК-1, ПК-3
	Итого	1	
5 твердотельные лазеры	Схемы функционирования твердотельных лазеров. Системы накачки твердотельных лазеров. Балансные уравнения и режим непрерывной генерации в твердотельных лазерах. Режим свободной генерации. Лазеры с модуляцией добротности резонатора. Синхронизация продольных мод и генерация ультракоротких импульсов. Рубиновый лазер. Неодимовый стеклянный лазер. Nd-ИАГ - лазеры. Волоконные лазеры.	1	ОПК-1, ПК-3
	Итого	1	
6 газовые лазеры. Другие типы лазеров	Особенности газов как активного вещества для лазеров. Механизмы возбуждения газоразрядных лазеров. Атомарный гелий-неоновый лазер. Лазеры на парах металлов. Ионный аргоновый лазер. Молекулярные лазеры. Газовые лазеры в УФ-диапазоне (N ₂ и N ₂ -лазеры). Молекулярный лазер на углекислом газе. Газодинамические лазеры. Эксимерные лазеры. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Жидкостные лазеры.	2	ОПК-1, ПК-3
	Итого	2	
7 интегральная оптоэлектроника	Историческая справка. Основные физические принципы интегральной оптоэлектроники. Достижения и перспективы интегральной оптоэлектроники. Планарные волноводы. Классификация оптических волноводов. Геометрическая оптика планарных волноводов. Электромагнитная теория планарных волноводов. Полосковые волноводы.	1	ОПК-1, ПК-3
	Итого	1	
Итого за семестр		10	
Итого		10	

5.3. Контрольные работы

Виды контрольных работ и часы на контрольные работы приведены в таблице 5.3.
Таблица 5.3 – Контрольные работы

№ п.п.	Виды контрольных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
8 семестр			
1	Контрольная работа с автоматизированной проверкой	2	ОПК-1, ПК-3
Итого за семестр		2	
Итого		2	

5.4. Лабораторные занятия

Не предусмотрено учебным планом

5.5. Практические занятия (семинары)

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Контроль самостоятельной работы (курсовой проект / курсовая работа)

Не предусмотрено учебным планом

5.7. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
8 семестр				
1 Описание электромагнитного излучения оптического диапазона	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	10	ОПК-1, ПК-3	Зачёт, Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-3	Контрольная работа
	Итого	11		
2 Энергетические состояния квантовых систем	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	20	ОПК-1, ПК-3	Зачёт, Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-3	Контрольная работа
	Итого	21		
3 Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	20	ОПК-1, ПК-3	Зачёт, Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-3	Контрольная работа
	Итого	21		

4 Общие вопросы построения лазеров	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	19	ОПК-1, ПК-3	Зачёт, Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-3	Контрольная работа
	Итого	20		
5 твердотельные лазеры	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	18	ОПК-1, ПК-3	Зачёт, Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-3	Контрольная работа
	Итого	19		
6 газовые лазеры. Другие типы лазеров	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	18	ОПК-1, ПК-3	Зачёт, Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-3	Контрольная работа
	Итого	19		
7 интегральная оптоэлектроника	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части дисциплины	16	ОПК-1, ПК-3	Зачёт, Тестирование
	Подготовка к контрольной работе	1	ОПК-1, ПК-3	Контрольная работа
	Итого	17		
Итого за семестр		128		
	Подготовка и сдача зачета	4		Зачет
Итого		132		

5.8. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности			Формы контроля
	Конт.Раб.	СРП	Сам. раб.	
ОПК-1	+	+	+	Зачёт, Контрольная работа, Тестирование
ПК-3	+	+	+	Зачёт, Контрольная работа, Тестирование

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература

1. Быков В. И. Квантовая и оптическая электроника: Учебное пособие / Быков В. И. - Томск : ФДО, ТУСУР, 2016. – 192 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library>.

7.2. Дополнительная литература

1. Башкиров, А. И. Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие / А. И. Башкиров. — Москва : ТУСУР, 2012. — 20 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/11104>.

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Быков В. И. Квантовая и оптическая электроника : методические указания по организации самостоятельной работы для студентов заочной формы обучения технических направлений подготовки, обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий / В. И. Быков, С. М. Шандаров. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2018. – 22 с. Доступ из личного кабинета студента. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://study.tusur.ru/study/library>.

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной 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.

7.4. Иное учебно-методическое обеспечение

1. Быков В. И. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: электронный курс / В. И. Быков – Томск : ФДО, ТУСУР, 2016. (доступ из личного кабинета студента) .

7.5. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: <https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh>.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

Учебные аудитории для проведения занятий лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, для самостоятельной работы студентов

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Веб-камера - 6 шт.;
- Наушники с микрофоном - 6 шт.;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- 7-Zip;
- Google Chrome;
- Kaspersky Endpoint Security для Windows;
- LibreOffice;
- Microsoft Windows;

8.2. 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, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

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

8.3. 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 зрения** 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.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Описание электромагнитного излучения оптического диапазона	ОПК-1, ПК-3	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
2 Энергетические состояния квантовых систем	ОПК-1, ПК-3	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
3 Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом	ОПК-1, ПК-3	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
4 Общие вопросы построения лазеров	ОПК-1, ПК-3	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
5 твердотельные лазеры	ОПК-1, ПК-3	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
6 газовые лазеры. Другие типы лазеров	ОПК-1, ПК-3	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

7 интегральная оптоэлектроника	ОПК-1, ПК-3	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Контрольная работа	Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне ориентирования , представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на репродуктивном уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.

4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на аналитическом уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на системном уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

- Какой вид имеет одномерное волновое уравнение для напряженности электрического поля?
 - $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = 0;$
 - $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0;$
 - $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \frac{1}{\varepsilon\mu} \nabla^2 \vec{E} = 0;$
 - $\nabla^2 \vec{E} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0;$
- Каким уравнением связаны величины напряженностей электрического и магнитного полей в электромагнитной волне?
 - $H_m = E_m;$
 - $H_m = W \cdot E_m;$
 - $H_m = \frac{E_m}{W};$
 - $H_m = \int E_m dW.$
- Какое условие выполняется для любых двух функций u и v , если оператор \hat{A} называется самосопряженным (эрмитовым)?
 - $\hat{A}(a_1 u + a_2 v) = a_1 \hat{A}u + a_2 \hat{A}v;$
 - $\int v^* \hat{A}u dV = \int u \hat{A}^* v^* dV;$
 - $\int u_n^* v_m dV = 0 \quad (m \neq n);$
 - $\int u_n^* v_m dV = 1 \quad (m = n).$
- Каким выражением определяется матричный элемент оператора A_{mn} в произвольном представлении?
 - $A_{mn} = \int \psi_m(x) \psi_n^*(x) dx;$
 - $A_{mn} = \int \psi_m^* \hat{A} \psi_n dx;$
 - $A_{mn} = \langle \psi | \hat{A} | \psi \rangle$
 - $A_{mn} = \sum_k W_k a_{kn}^* a_{km}.$
- Каково соотношение населенности 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) $\frac{N_1}{g_1} = \frac{N_2}{g_2} \exp\frac{E_2 + E_1}{kT}$
- г) $g_1 N_1 = g_2 N_2$
6. Как зависит вероятность спонтанного излучения (коэффициент Эйнштейна A_{21}) от частоты перехода ν ?
- а) ν
- б) ν^2
- в) ν^3
- г) не зависит от ν
7. При каких условиях в ансамбле частиц с двумя уровнями энергии (первоначально находящимся в состоянии термодинамического равновесия), при оптической накачке можно создать инверсию населённостей?
- а) можно создать при малых плотностях энергии накачки ρ
- б) можно создать при больших ρ
- в) можно создать при любых ρ
- г) создать невозможно в принципе
8. Каково условие устойчивости открытого оптического резонатора длиной L с радиусами кривизны зеркал r_1 и r_2 ?
- а) $0 < \left(1 - \frac{L}{r_1}\right)\left(1 - \frac{L}{r_2}\right) < 1$
- б) $0 \leq \left(1 - \frac{L}{r_1}\right)\left(1 - \frac{L}{r_2}\right) \leq 1$
- в) $L < r_1, L < r_2$
- г) $L > r_1, L > r_2$
9. Каково соотношение между радиусами кривизны сферических вогнутых зеркал (r_1 и r_2) и расстоянием между ними L (длина резонатора) для полуконфокального резонатора?
- а) $r_1 = \infty, r_2 = 2L$
- б) $r_1 = \infty, r_2 = L$
- в) $r_1 = r_2 = L$
- г) $r_1 = r_2 = 2L$
10. Что обозначает аббревиатура ТЕМ?
- а) продольную электромагнитную волну
- б) поперечную электромагнитную волну
- в) продольную моду резонатора
- г) поперечную моду резонатора

9.1.2. Перечень вопросов для зачета

Приведены примеры типовых заданий из банка контрольных тестов, составленных по пройденным разделам дисциплины.

1. Что представляет собой вектор состояния?

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

$|\psi\rangle$

б) строчную матрицу коэффициентов $\|c_1^* c_2^* c_3^*, \dots\|$ и обозначается символом

$\langle\psi|$

в) столбовую матрицу коэффициентов

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix}$$

и обозначается символом $|\psi\rangle$

г) столбовую матрицу коэффициентов

$$\begin{pmatrix} c_1^* \\ c_2^* \\ c_3^* \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix}$$

и обозначается символом $\langle\psi|$

2. Что называется совектором состояния?

а) строчную матрицу коэффициентов $\|c_1 c_2 c_3, \dots\|$ и обозначается символом

$|\psi\rangle$

б) строчную матрицу коэффициентов $\|c_1^* c_2^* c_3^*, \dots\|$ и обозначается символом

$\langle\psi|$

в) столбовую матрицу коэффициентов

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix}$$

и обозначается символом $|\psi\rangle$

г) столбовую матрицу коэффициентов

$$\begin{pmatrix} C_1^* \\ C_2^* \\ C_3^* \\ \cdot \\ \cdot \end{pmatrix}$$

и обозначается символом $\langle \psi |$

3. Как связана объемная спектральная плотность энергии излучения абсолютно черного тела ρ_ν с частотой ν и температурой T ?

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

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

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

г)
$$\rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT$$

4. Каково соотношение населенностей верхнего и нижнего уровней для среды, находящейся в состоянии термодинамического равновесия?

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

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

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

г)
$$\frac{N_1}{g_1} = \frac{N_2}{g_2} \left(\frac{E_2 - E_1}{kT} \right)$$

5. Как связаны коэффициенты Эйнштейна для поглощения и индуцированного перехода?

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) $B_{21} = \rho_v B_{12}$

6. Какова ширина спектральной линии $\Delta \nu_{\text{одн}}$ на полувысоте однородно уширенного контура?

а) $\Delta \nu_{\text{одн}} = \sum_i \frac{1}{2\pi\tau_i}$

б) $\Delta \nu_{\text{одн}} = \frac{c}{2Ln}$

в) $\Delta \nu_{\text{одн}} = \sum_i \frac{1}{\tau_i}$

г) $\Delta \nu_{\text{одн}} = \frac{2cn}{L}$

7. Каким выражением описывается матричный элемент матрицы плотности?

а) $\rho_{kn} = \sum_m W_m C_{mk} C_{mn}^*$

б) $\rho_{kn} = \sum_k W_k C_{mk} C_{mn}$

в) $\rho_{kn} = \sum_m W_n C_{mk} C_{mn}$

г) $\rho_{kn} = \sum_k W_k C_{kn} C_{km}^*$

8. Какой физический смысл имеет диагональный элемент матрицы плотности?

а) не имеет физического смысла

б) определяет вероятность нахождения системы в k-состоянии $\rho_{kk} = \frac{N_k}{N}$

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

г) определяет число частиц в системе в k-состоянии $\rho_{kk} = N_k$

9. Чему равен шпур матрицы плотности?

а) $Sp \hat{\rho} = 0$

б) $Sp \hat{\rho} = 1$

в) $Sp \hat{\rho} = 2$

г) $Sp \hat{\rho} = 10$

10. Как определяется среднее значение физической величины F?

а) $F_{cp} = Sp(\hat{\rho} \hat{F})$

б) $F_{cp} = Sp(\hat{F} \hat{\rho})$

в) $F_{cp} = (\hat{\rho} \hat{F})$

$$\text{г) } F_{cp} = (\hat{F} \hat{\rho})$$

11. Термостатированный ансамбль имеет два энергетических уровня и находится в состоянии релаксации. Какой вид имеет уравнение, описывающее эволюцию недиагонального элемента матрицы плотности ρ_{12} ?

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

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

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

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

9.1.3. Примерный перечень вариантов (заданий) контрольных работ

1. Для микрочастицы, имеющей два энергетических уровня, на каждом из которых она описывается четной волновой функцией, матрица оператора электродипольного момента имеет вид:

$$\text{а) } \hat{p} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\text{б) } \hat{p} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\text{в) } \hat{p} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\text{г) } \hat{p} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

2. Оператор электродипольного момента обладает свойством:

$$\text{а) След матрицы } \text{Sp } \hat{p} = 1;$$

$$\text{б) матрица } \hat{p} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix};$$

- в) диагональные элементы матрицы равны 0;

$$\text{г) матрица } \hat{p} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

3. Внешнее электромагнитное поле воздействует на трехуровневую систему с частотой перехода ω_{32} . Балансное уравнение для числа частиц на верхнем уровне с учетом всех возможных переходов имеет вид:

$$\text{а) } \frac{d}{dt} N_3 = N_1(\Gamma_{13} + W + A_{13}) + N_2(\Gamma_{23} + W + A_{23}) - N_3(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + W + A_{31} + A_{32});$$

$$\text{б) } \frac{d}{dt} N_3 = N_1(\Gamma_{13}) + N_2(\Gamma_{23} + W) - N_3(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + W + A_{31} + A_{32});$$

$$\text{в) } \frac{d}{dt} N_3 = N_3(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + A_{31} + A_{32} + W) - N_2(\Gamma_{23} + W + A_{23}) - N_1(\Gamma_{13} + W + A_{13});$$

$$\text{г) } \frac{d}{dt} N_3 = N_3(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + W + A_{31} + A_{32}) - N_2(\Gamma_{23} + W) - N_1(\Gamma_{13}).$$

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:

$$\text{а) } \lambda = 621 \text{ нм};$$

$$\text{б) } \lambda = 1.242 \text{ мкм};$$

$$\text{в) } \lambda = 2.484 \text{ мкм};$$

$$\text{г) } \lambda = 898 \text{ нм}.$$

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

$$\text{а) } \tau = 5.37 \text{ нс};$$

$$\text{б) } \tau = 2.74 \text{ нс};$$

$$\text{в) } \tau = 7.22 \text{ мкс};$$

$$\text{г) } \tau = 6.29 \text{ нс}.$$

6. Двухуровневая система микрочастиц находится во внешнем переменном электромагнитном поле с частотой, соответствующей переходу с одного уровня на другой Ω_{21} . Балансное уравнение для числа частиц на нижнем уровне может быть записано в виде:

$$\text{а) } \frac{d}{dt} \rho_{11} = (\Gamma_{12} + W) \rho_{22} + (\Gamma_{21} - W) \rho_{11};$$

$$\text{б) } \frac{d}{dt} \rho_{11} = (\Gamma_{12} + W) \rho_{22} - (\Gamma_{21} + W) \rho_{11};$$

$$в) \frac{d}{dt} \rho_{11} = (\Gamma_{21} + W) \rho_{22} - (\Gamma_{12} + W) \rho_{11};$$

$$г) \frac{d}{dt} \rho_{11} = (\Gamma_{21} - W) \rho_{22} - (\Gamma_{12} - W) \rho_{11}.$$

7. 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;
 - г) не зависеть от падающей мощности.
8. Поглощение электромагнитного излучения двухуровневой системой в случае сильного поля будет:
 - а) прямо пропорционально падающей мощности;
 - б) нелинейно зависеть от падающей мощности;
 - в) зависеть нелинейно от падающей мощности с насыщением;
 - г) не зависеть от падающей мощности.
9. Поглощение электромагнитного излучения двухуровневой системой в случае слабого поля будет:
 - а) не зависеть от частоты поля;
 - б) прямо пропорционально частоте поля;
 - в) квадратично частоте поля;
 - г) сильно зависеть от частоты поля.
10. Зависимость поглощения электромагнитного поля от частоты двухуровневой системы описывается кривой:
 - а) Лоренца;
 - б) Гаусса;
 - в) Эйлера;
 - г) Лагранжа.

9.2. 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 осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров.

Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе по дисциплине.

9.3. 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 9.4.

Таблица 9.4 – 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, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

9.4. 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.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ЭП
протокол № 11 от «24» 11 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94- b533-6139893cfd5a
Заведующий обеспечивающей каф. ЭП	Н.И. Буримов	Согласовано, 393931b1-af66-45e5- a537-c5831244e4ca
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972- a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Старший преподаватель, каф. ТЭО	А.В. Гураков	Согласовано, 4bfa5749-993c-4879- adcf-c25c69321c91
Доцент, каф. ЭП	А.И. Аксенов	Согласовано, d90d5f87-f1a9-4440- b971-ce4f7e994961

РАЗРАБОТАНО:

Доцент, каф. ЭП	В.И. Быков	Разработано, 059722b9-8e1d-453e- b2d2-c0d528ac8ebd
Доцент, каф. УИ	И.А. Лариошина	Разработано, c3195437-a02f-4972- a7c6-ab6ee1f21e73