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
_____Сенченко П.В
«13» _____12_____ 2023 г.

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 (включая промежуточную аттестацию)	144	144 4	часов з.е.

Формы промежуточной аттестации	Семестр	Количество
Зачет	8	
Контрольные работы	8	1

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 13.12.2023
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 81328

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		

Согласована на портале № 81328

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					

Согласована на портале № 81328

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	

Согласована на портале № 81328

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 (N2 и H2-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

Согласована на портале № 81328

№ 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		

Согласована на портале № 81328

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

Согласована на портале № 81328

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

Согласована на портале № 81328

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

Согласована на портале № 81328

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

Согласована на портале № 81328

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.

Согласована на портале № 81328

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

1. Какой вид имеет одномерное волновое уравнение для напряженности электрического поля?
   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. Каким уравнением связаны величины напряженностей электрического и магнитного полей в электромагнитной волне?
   а) $H_m = E_m;$
   б) $H_m = W \cdot E_m;$
   в) $H_m = \frac{E_m}{W};$
   г) $H_m = \int E_m dW.$
3. Какое условие выполняется для любых двух функций u и v, если оператор $\hat{A}$ называется самосопряженным (эрмитовым)?
   а) $\hat{A}(a_1 u + a_2 v) = a_1 \hat{A} u + a_2 \hat{A};$
   б) $\int v^* \hat{A} u dV = \int u \hat{A}^* v^* dV;$
   в) $\int u_n^* v_m dV = 0 \ \ (m \neq n);$
   г) $\int u_n^* v_m dV = 1 \ \ (m = n).$
4. Каким выражением определяется матричный элемент оператора A_{mn} в произвольном представлении?
   а) $A_{mn} = \int \psi_m(x) \psi_n^*(x) dx;$
   б) $A_{mn} = \int \psi_m^* \hat{A} \psi_n dx;$
   в) $A_{mn} = < \psi \left| \hat{A} \right| \psi >$
   г) $A_{mn} = \sum_k W_k a_{kn}^* a_{km}.$
5. Каково 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) $\frac{N_1}{g_1} = \frac{N_2}{g_2} \exp\frac{E_2 + E_1}{kT}$

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) $0 \le \left(1 - \frac{L}{r_1}\right)\left(1 - \frac{L}{r_2}\right) \le 1$
   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 $\|C_1 C_2 C_3, \ldots\|$ и обозначается символом

Согласована на портале № 81328

$|\psi\rangle$

б) строчную матрицу коэффициентов $\|C_1^* C_2^* C_3^*, \ldots\|$ и обозначается символом $\langle\psi|$

в) столбовую матрицу коэффициентов $\begin{Vmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ . \\ . \end{Vmatrix}$ и обозначается символом $|\psi\rangle$

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

2. Что называется совектором состояния?

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

б) строчную матрицу коэффициентов $\|C_1^* C_2^* C_3^*, \ldots\|$ и обозначается символом $\langle\psi|$

в) столбовую матрицу коэффициентов $\begin{Vmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ . \\ . \end{Vmatrix}$ и обозначается символом $|\psi\rangle$

Согласована на портале № 81328

г) столбовую матрицу коэффициентов $\begin{Vmatrix} C_1^* \\ C_2^* \\ C_3^* \\ \cdot \\ \cdot \end{Vmatrix}$ 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) $\rho_\nu = \dfrac{8\pi\nu^2 \cdot h\nu B_{21}}{c^3}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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) $B_{12} = \rho_\nu B_{21}$

Согласована на портале № 81328

г) $B_{21} = \rho_\nu B_{12}$

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

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

б) $\Delta\nu_{одн} = \frac{c}{2Ln}$

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

г) $\Delta\nu_{одн} = \frac{2cn}{L}$

7. Каким выражением описывается матричный элемент матрицы плотности?

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

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

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 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) $F_{cp} = Sp\left(\hat{\rho}\hat{F}\right)$

б) $F_{cp} = Sp\left(\hat{F}\hat{\rho}\right)$

в) $F_{cp} = \left(\hat{\rho}\hat{F}\right)$

Согласована на портале № 81328

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

2. Оператор электродипольного момента обладает свойством:

а) След матрицы $\mathrm{Sp}\,\hat{\vec{p}} = 1;$

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

в) диагональные элементы матрицы равны 0;

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

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:

Согласована на портале № 81328

а)
$$\frac{d}{dt}N_3 = N_1(\Gamma_{13} + W + A_{13}) + N_2(\Gamma_{23} + W + A_{23}) - N_3(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + W + A_{31} + A_{32});$$
б)
$$\frac{d}{dt}N_3 = N_1(\Gamma_{13}) + N_2(\Gamma_{23} + W) - N_3(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + W + A_{31} + A_{32});$$
в)
$$\frac{d}{dt}N_3 = N_3(\Gamma_{31} + \Gamma_{32} + A_{31} + A_{32} + W) - N_2(\Gamma_{23} + W + A_{23}) - N_1(\Gamma_{13} + W + A_{13});$$
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 $E_1 = 0\,эВ, E_2 = 0.1\,эВ, E_3 = 1.1\,эВ, E_4 = 1.2\,эВ$ их населенности составляют
$N_1 = 1\times10^{22}\,м^{-3}, N_2 = 0.03\times10^{22}\,м^{-3}, N_3 = 0.5\times10^{22}\,м^{-3}, N_4 = 1\times10^{16}\,м^{-3}.$
Длина волны светового излучения, которое будет усиливаться за счет индуцированных переходов между уровнями данной системы частиц составляет:
а) $\lambda = 621\,нм;$
б) $\lambda = 1.242\,мкм;$
в) $\lambda = 2.484\,мкм;$
г) $\lambda = 898\,нм.$

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:
а) $\tau = 5.37\,нс;$
б) $\tau = 2.74\,нс;$
в) $\tau = 7.22\,мкс;$
г) $\tau = 6.29\,нс.$

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

Согласована на портале № 81328

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.

Согласована на портале № 81328

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

Согласована на портале № 81328

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

Согласована на портале № 81328