

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Саровский физико-технический институт -

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Квантовой электроники»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФТФ, д.ф.-м.н.

_____ **А.К. Чернышев**

«__» _____ **2023 г.**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВЫ ФИЗИКИ ЛАЗЕРОВ

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>03.03.01 Прикладные математика и физика</u>
Наименование образовательной программы	<u>Квантовая электроника</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>бакалавр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор
_____ **Ф.А. Стариков**
протокол № «__» _____ **2023г.**

г. Саров, 2023 г.

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор Ф.А. Стариков

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор Ф.А. Стариков

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор Ф.А. Стариков

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой Зав. кафедрой КЭ д.ф.-м.н., профессор Ф.А. Стариков

Семестр	В форме практической подготовки	Трудоёмкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/ КЭ	Форма(ы) контроля, экз./зач./ЗСО/
6	32	4	144	16	32	-	60	0	Э
ИТОГО	32	4	144	16	32	-	60	0	36

АННОТАЦИЯ

Курс «Основы физики лазеров» - необходим для специалистов, работающих в области лазерной техники. Знания и практические навыки, полученные в курсе «Основы физики лазеров», используются студентами при разработке курсовых и дипломных работ.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса «Основы физики лазеров» – ознакомление студентов с основными понятиями и идеями лазерной физики и техники, приемами создания инверсии населенностей в различных лазерах, основными режимами работы лазерных генераторов и усилителей и способами управления их характеристиками. Упор делается главным образом на создании ясной физической картины происходящих процессов. Особое внимание уделяется развитию навыков простых оценок характеристик лазерных сред и параметров лазерных генераторов и усилителей.

1. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Учебная дисциплина ОСНОВЫ ФИЗИКИ ЛАЗЕРОВ входит в вариативную часть профессионального цикла дисциплин ОП по направлению подготовки 03.03.01 «Прикладные математика и физика».

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: общая физика, квантовая механика, математический анализ, уравнения математической физики, теория функций комплексного переменного.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и высшей математики. Необходимо знать дифференциальное и интегральное исчисление, основы термодинамики и молекулярной физики, электричество и магнетизм, оптику, волновые процессы.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	профессио- Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	--------------------------------------	---	---

Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский

проведение научных и аналитических исследований в области ла-	классические и квантовые поля, плотная горячая	ПК-2 Способен выбирать и применять необходимое	3-ПК-2 Знать современное оборудование,
---	--	--	--

зерно-физических и лазерно-плазменных исследований по отдельным разделам темы в рамках предметной области по профилю специализации	плазма, лазеры и их применения, математические модели для теоретического и численного исследований явлений и закономерностей в указанных выше областях физики, включая физику лазеров, физическую оптику, спектроскопию	оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области Профессиональный стандарт «40.011. Специалист по научно-исследовательским и Опытно-конструкторским разработкам»	инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области. У-ПК-2 Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области В-ПК-2 Владеть навыками выбора и применения оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области 3-ПК-4 Знать основные методики и методы исследования в сфере своей профессиональной деятельности У-ПК-4 Уметь анализировать и критически оценивать применяемые методики и методы исследования. В-ПК-4 Владеть навыками выбора и критической оценки применяемых методик и методов исследования в сфере своей профессиональной деятельности
Тип задачи профессиональной деятельности: проектный			
участие в разработке и реализации проектов исследовательской и инновационной направленности в команде исполнителей	классические и квантовые поля, плотная горячая плазма, лазеры и их применения, математические модели для теоретического и численного исследований явлений и законо-	ПК-10.1 способен самостоятельно и в составе группы проводить научные исследования в области лазерно-физических и лазерно-плазменных исследований, квантовой электроники с	3-ПК-10.1 знать нормы и правила ядерной и радиационной безопасности У-ПК-10.1 уметь проводить расчетные исследования на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи,

мерностей в указанных выше областях физики, включая физику лазеров, физическую оптику, спектроскопию

применением экспериментальных методов, методов имитационного моделирования, статистических методов обработки экспериментальных данных, методов компьютерного моделирования процессов и объектов
Профессиональный стандарт «24.078. Специалист исследователь в области ядерно-энергетических технологий»
ПК-10.2 способен к участию в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий в области физики лазеров и лазерной плазмы
Профессиональный стандарт «24.078. Специалист-исследователь в области ядерно-энергетических технологий»

оценивать погрешность результатов измерений В-ПК-10.1 владеть навыками проведения экспериментальных измерений на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных

З-ПК-10.2 знать порядок проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ
У-ПК-10.2 уметь создавать математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках
В-ПК-10.2 владеть навыками обработки результатов расчетных исследований

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
			Лекции	Практ. занятия/семинары	Лаб. работы	СРС			
			16	32	-	60			
Семестр №6									
1.	Название раздела								
1.1.	Тема 1. Введение в физику лазеров	1-4	4	8	-	14	ДЗ,КР	5	
1.2.	Тема 2. Оптический резонатор	4-8	4	8	-	16	ДЗ,КР	5	
	Рубежный контроль	8						КР	5
2.	Название раздела								
2.1.	Раздел 3. Режимы генерации и усиления	9-12	4	8	-	14	ДЗ,КР	5	
2.2.	Раздел 4. Полупроводниковые твердотельные лазеры	13-16	4	8	-	16	ДЗ,КР	20	
	Рубежный контроль	16 (15)						КР	5
	Промежуточная аттестация	Экзамен						36 / 0	0 - 50
	Посещаемость								5
	Итого:		16	32	-	60		100	

*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:

УО – устный опрос

КР – контрольная работа, ДЗ-домашнее задание.

Тест – тестирование (письменный опрос)

ДЗ – домашнее задание

РГР – расчетно-графическая работа

Э/Зач/ЗсО – экзамен/зачет/зачет с оценкой и др.

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Раздел 1. Введение в физику лазеров.	
1.1.	Тема 1.	Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Спектральные коэффициенты Эйнштейна. Сечение усиления. Коэффициент усиления.
1.2.	Тема 2.	Инверсия населенностей. Принцип действия лазера. Порог генерации. Основные типы квантовых систем. Основные типы лазеров.
1.3	Тема 3.	Трехуровневая и четырехуровневая схема накачки. Насыщение поглощения и усиления. Интенсивность насыщения.
1.4	Тема 4.	Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Радиационный, доплеровский, столкновительный и другие механизмы уширения линий. Провал Лэмба.
1.5	Тема 5.	Основные свойства лазерных пучков: монохроматичность, когерентность, направленность, яркость. Дифракционно-ограниченные пучки.
2.	Раздел 2. Оптический резонатор.	
2.1.	<u>Тема 1.</u>	Оптический резонатор. Моды резонатора. Потери в резонаторе. Устойчивость резонаторов. Добротность резонатора.
2.2.	<u>Тема 2.</u>	Моды свободного пространства. Гауссовы пучки. Эрмитовы гауссовы и Лагерре-гауссовы моды.
2.3	<u>Тема 3.</u>	Моды устойчивых резонаторов. Размеры основной моды, частоты резонатора, расходимость выходного излучения.
2.4	<u>Тема 4.</u>	Одномодовый и многомодовый режимы генерации. Методы селекции мод. Отличие мод реальных резонаторов от мод пустого резонатора.
2.5	<u>Тема 5.</u>	Неустойчивые резонаторы. Конфокальный телескопический резонатор. Факторы, влияющие на расходимость выходного излучения.
3	Раздел 3. Режимы генерации и усиления.	
3.1	<u>Тема 1.</u>	Режимы генерации и усиления. Балансные уравнения. Стационарный режим генерации. Интенсивность вправо – влево. Усредненные уравнения.
3.2	<u>Тема 2.</u>	Выходная мощность в стационарном режиме. Дифференциальный КПД. Оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала в стационарном режиме генерации. Релаксационные колебания.
3.3	<u>Тема 3.</u>	Импульсный генератор с модуляцией добротности. Основные факторы, определяющие длительность импульса. Способы модуляции добротности.
3.4	<u>Тема 4.</u>	Усиление в стационарном режиме. Эффективность съема энергии с усилителя в стационарном режиме. Усиление коротких импульсов. Энергия насыщения. Деформация временного профиля импульса на примере прямоугольного

		импульса.
4	Раздел 4. Полупроводниковые и твердотельные лазеры.	
4.1	Тема 1.	Полупроводниковые лазеры. Мощные диодные лазеры. Твердотельные лазеры. Матрицы лазеров на твердом теле. Ионы-активаторы. Свойства лазерных кристаллов и стекол.
4.2	Тема 2.	Основные процессы в активной среде твердотельного лазера. Охлаждение активных элементов и тепловые эффекты. Ламповая и диодная накачка твердотельных лазеров.
4.3	Тема 3.	Схемы накачки и охлаждения в твердотельных лазерах. Лазер на рубине. Лазеры на неодиме.
4.4	Тема 4.	Лазеры на иттербии. Волоконные лазеры.

Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Название раздела 1	
1.1.	Тема 1	Населенности уровней при термодинамическом равновесии. Коэффициент поглощения и усиления. Усиление слабого сигнала. Логарифмические потери. Пороговое значение инверсии населенностей.
1.2.	Тема 2	Пороговое значение интенсивности накачки. Интенсивность насыщения. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Сечение усиления в центре линии. Ширина провала Лэмба.
1.3	Тема 3	Теоретическая и практическая спектральная ширина лазерной генерации на одной моде. Расходимость дифракционно-ограниченных лазерных пучков.
1.4	Тема 4	Продольные моды резонатора. Условие устойчивости резонаторов. Свойства гауссовых пучков.
1.5	Тема 5	Размеры основной моды и положение перетяжки в устойчивых резонаторах. Расходимость излучения для многомодового режима генерации.
1.6	Тема 6	Параметры конфокального неустойчивого резонатора. Контрольная работа.
	Тема 7	Выходная мощность в стационарном режиме. Оценка пороговой мощности накачки, КПД лазера. Оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала.
	Тема 8	Усиление в стационарном режиме. Энергия насыщения и усиление коротких импульсов.
	Тема 9	Тепловые эффекты в твердотельных лазерах. Оценки параметров неодимовых и иттербиевых лазеров. Контрольный тест.

Лабораторные занятия

Лабораторные работы отсутствуют.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

1. Самостоятельные домашние задания (вопросы и задачи по темам) при подготовке к практическим занятиям.
2. Подготовка к контрольной работе и тестированию.
3. Подготовка к экзамену.

Формы контроля: устные опросы, контрольная работа, тестирование, экзамен

ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ для самостоятельной работы

Раздел 1. Введение в физику лазеров

1. Диапазон длин волн лазерного излучения простирается от рентгеновского до дальнего инфракрасного участка спектра, что соответствует длинам волн от 10^{-3} до 100 мкм. Сюда входят следующие спектральные области: дальняя инфракрасная, ближняя инфракрасная, видимый свет, ультрафиолетовая, рентгеновская. Из любого физического справочника найдите интервалы длин волн, соответствующих указанным диапазонам. Запишите границы каждого из интервалов. Запишите длины волн, соответствующие синему, зеленому и красному участкам спектров.
2. В спектроскопии энергии уровней обычно выражают в единицах см^{-1} . Пусть разница энергий двух уровней составляет 10^4 см^{-1} . Какая длина волны соответствует переходу между этими уровнями? Какова энергия кванта, частота излучения? Запишите соотношения, позволяющие переходить от одних величин к другим.
3. Пусть разница энергий между двумя уровнями соответствует длине волны перехода 500 нм. Каково соотношение между населенностями этих уровней при комнатной температуре в термодинамическом равновесии?
4. Пусть соотношение между населенностями N_2/N_1 двух уровней, находящихся в термодинамическом равновесии при температуре $T = 300^\circ\text{K}$, равно $1/e$. Найдите частоту излучения ν , соответствующую переходу между этими уровнями. В какую область электромагнитного спектра попадает излучение с этой частотой?
5. В чем состоит принципиальное отличие свойств фотонов, излучаемых при спонтанных переходах и в актах вынужденного излучения?
6. Рассчитать величину потока фотонов (интенсивность в $\text{квант}/(\text{см}^2 \cdot \text{сек})$)

в плоской монохроматической волне при интенсивности $J = 100 \text{ Вт/см}^2$ и длине волны 500 нм.

7. Пусть уровень 1 является основным и имеет кратность вырождения 4. Уровень 2 имеет кратность вырождения 2. Длина волны перехода между уровнями $\lambda = 694.3 \text{ нм}$. Сечение усиления составляет $\sigma \approx 2.5 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$. Общая концентрация частиц $N = 1.6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Чему равен коэффициент поглощения при комнатной температуре в термодинамическом равновесии? При каком соотношении населенностей среда станет усиливающей? Когда коэффициент усиления станет равным $\alpha = 0.1 \text{ см}^{-1}$?

8. Какой длины должен быть рубиновый стержень, чтобы обеспечить полный коэффициент усиления слабого сигнала $K = 20$, если $\alpha = 0.2 \text{ см}^{-1}$?

9. В качестве лазерного усилителя используется рубиновый стержень длиной 15 см. Измеренный полный коэффициент усиления слабого сигнала равен 27. Чему будет равен коэффициент усиления слабого сигнала для стержня длиной 20 см?

10. Лазерный резонатор состоит из двух зеркал с коэффициентами отражения $R_1 = 1$ и $R_2 = 0.5$. Длина активной среды $L = 7.5 \text{ см}$, а сечение усиления $3.5 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$. Найдите пороговое значение инверсии населенностей.

11. В резонаторе потери определяются только коэффициентом отражения выходного зеркала $R_2 = 0.5$. При этом пороговое значение коэффициента усиления в активной среде равно $\alpha_{\text{пор}}$. Как изменится пороговое значение коэффициента усиления при внесении в резонатор поглотителя, который пропускает 50 % падающего на него излучения?

12. В резонаторе лазера находится активный элемент длиной 10 см, имеющий нерезонансные потери 0.001 см^{-1} и потери при прохождении торцов – 0.2 %. Коэффициенты отражения зеркал 0.99 и 0.85. Найти логарифмические полные потери за обход резонатора, полезные потери, эффективные линейные полные потери, пороговый коэффициент усиления.

13. Запишите кинетические уравнения, описывающие накачку в четырехуровневой схеме. Получите условие возникновения положительной инвер-

сии.

14. Оценить значение пороговой интенсивности накачки в рубиновом лазере (3-х уровневая схема). Нижний (основной) уровень 4-хкратно вырожден, второй уровень состоит из двух двукратно вырожденных подуровней, разность энергий подуровней составляет около 29 см^{-1} . Генерация происходит между нижним подуровнем и основным уровнем. Время жизни лазерного уровня 3 мс. Накачка на третий уровень происходит в зеленой полосе поглощения ($\lambda \approx 550 \text{ нм}$, сечение поглощения $\sigma = 1.7 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$).

15. Четырехуровневая среда накачивается непрерывным источником. Параметры среды: сечение усиления $\sigma_{yc} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$, время релаксации $\tau_{21} = 230 \text{ мкс}$, длина волны лазерного перехода $\lambda = 1.06 \text{ мкм}$. Как будут отличаться коэффициенты усиления в среде при взаимодействии с волной интенсивностью 1 кВт/см^2 и 10 кВт/см^2 ?

16. Активная среда иодного лазера содержит 300 Торр CO_2 , 450 Торр Ar и 10 Торр $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$. Коэффициент усиления среды $\alpha = 0.005 \text{ см}^{-1}$. Коэффициент Эйнштейна $A = 3 \text{ сек}^{-1}$, длина волны рабочего перехода $\lambda = 1.315 \text{ мкм}$. Коэффициенты столкновительного уширения равны $\beta_{\text{CO}_2} = 9 \text{ МГц/Торр}$, $\beta_{\text{Ar}} = 5 \text{ МГц/Торр}$, $\beta_{\text{C}_3\text{F}_7\text{I}} = 20 \text{ МГц/Торр}$. Найти инверсную населенность атомарного иода.

17. Активная среда кислородно-иодного лазера имеет обычно малую плотность в объеме резонатора, поэтому вкладом ударного уширения можно пренебречь, ширина линии определяется доплеровским уширением. Температура активной среды равна 200 К. Коэффициент усиления активной среды $\alpha = 0.005 \text{ см}^{-1}$. Коэффициент Эйнштейна $A = 3 \text{ сек}^{-1}$, длина волны рабочего перехода $\lambda = 1.315 \text{ мкм}$. Атомный вес иода $M_I = 127$. Найти инверсную населенность атомарного иода.

18. Найти доплеровскую ширину линии перехода с $\lambda = 10.6 \text{ мкм}$ молекулы CO_2 при $T = 300 \text{ К}$. Поскольку в CO_2 – лазере столкновительное уширение этого перехода составляет $\approx 6.5 \text{ МГц/Торр}$, найдите, при каком давлении

смеси оба механизма дадут одинаковые ширины линии.

19. Постройте примерные зависимости от давления в среде CO_2 – лазера для: а) ширины линии; б) сечения поглощения в центре линии; в) коэффициента поглощения в центре линии.

20. Каков механизм уширения в активных средах на основе лазерных кристаллов и стекол, какую из сред эффективнее использовать для усиления узкой линии и почему?

21. В гелий-неоновом лазере ($\lambda = 632.8$ нм) имеет место генерация на частоте точно совпадающей с центром линии. Время жизни верхнего лазерного уровня ≈ 100 нс, а нижнего ≈ 10 нс. Давление среды 2 Торр, температура 320 К, атомная масса рабочего вещества (неона) $M = 20$, коэффициент столкновительного уширения ≈ 70 МГц/Торр. Оценить ширину Лэмбовского провала. Как эта ширина соотносится с доплеровской шириной линии?

22. Ширина линии выходного излучения лазера на рубине ($\lambda = 0.6943$ мкм) составляет 0.5 нм. Выразить ширину линии в Герцах.

23. Каким образом можно померить расходимость лазерного пучка?

24. Пучок рубинового лазера ($\lambda = 0.694$ мкм) проходит через телескоп диаметром 1 м и посылается на Луну. Найти диаметр пучка на Луне, предполагая, что пучок обладает полной пространственной когерентностью (расстояние от Земли до Луны $3.84 \cdot 10^5$ км).

25. Пучок гелий-неонового лазера ($\lambda = 632.8$ нм) мощностью 10 мВт имеет на выходе диаметр 1 см. Считая, что излучение имеет плоский фазовый фронт, оценить на каком расстоянии человек может увидеть излучение лазера. Какова должна быть мощность обычного источника света, чтобы его можно было увидеть на этом расстоянии? Считать, что порог фиксации глаза составляет 100 квантов в секунду, а диаметр зрачка 8 мм.

26. Неполяризованный лазерный пучок разделяется на два пучка, которые преобразуются и снова сводятся для наблюдения интерференционной картины. Сравните контраст интерференционной картины для четырех вариантов: 1) оба пучка неполяризованы;

- 2) один пучок неполяризован, второй – линейно поляризован;
- 3) оба пучка линейно поляризованы, направления поляризации совпадают;
- 4) оба пучка линейно поляризованы, направления поляризации ортогональны.

Раздел 2. Оптический резонатор

1. Чем определяется теоретическая спектральная ширина лазерной генерации на одной моде? Чем на практике определяется спектральная ширина для одной моды?
2. Каково изменение $\Delta\nu$ резонансной частоты лазера, длина резонатора которого меняется на ΔL ?
3. Какие виды потерь могут быть в резонаторе, чем они обусловлены?
4. Имеются два вогнутых зеркала с радиусами кривизны 3 м и 5 м. Резонатор длиной 4 м с этими зеркалами будет устойчивым или неустойчивым? Длиной 2 м, 7 м?
5. Какова радиальная зависимость амплитуды поля и интенсивности в резонаторе для моды TEM_{00} ? Как определяется размер пучка?
6. Вывести соотношение между полной мощностью P и максимальной интенсивностью J (на оси пучка) для гауссова пучка с размером ω .
7. Какая доля мощности гауссова пучка с размером ω приходит через диафрагмы с диаметрами ω , 2ω , 3ω , 4ω ? Какие значения амплитуды поля и интенсивности при этом имеют место у краев диафрагм?
8. Расстояние от перетяжки, на котором площадь гауссова пучка меняется в 2 раза, называют Релеевским расстоянием. Выразить его через размер ω_0 . Каков радиус кривизны гауссова пучка на этом расстоянии? Рассмотреть среду с показателем преломления n .
9. Гелий-неоновый лазер ($\lambda = 632.8$ нм) мощностью 5 мВт работает в режиме генерации на TEM_{00} моде и имеет полную расходимость в дальней зоне 1 мрад. Рассчитать размер пучка и осевую интенсивность в перетяжке.
10. Излучение на выходе лазера с устойчивым резонатором состоит из ше-

сти пятен: . Как можно охарактеризовать модовый состав выходного пучка?

11. Найти положение и размер перетяжки основной моды для He-Ne лазера (длина волны излучения 0.63 мкм) в полуконфокальном резонаторе длиной $L = 10$ см. При какой длине полуконфокального резонатора размер основной моды на плоском зеркале окажется равным $\omega_0 = 2$ мм? Каков при этом радиус кривизны сферического зеркала?

12. Рассмотрите резонатор, образованный двумя вогнутыми сферическими зеркалами с радиусами кривизны 4 м и расстоянием между ними 1 м. Определите размер основной моды в центре резонатора и на зеркалах, если длина волны излучения 514.5 нм (одна из линий Ar-лазера).

13. В задаче 12 одно из зеркал заменено на плоское, которое используется в качестве выходного зеркала. Оценить полный угол расходимости лазерного пучка при одномодовом режиме генерации. Изменится ли ответ, если в качестве выходного зеркала используется сферическое зеркало?

14. Резонатор длиной 120 см имеет одно зеркало выпуклое с фокусным расстоянием $F_1 = -60$ см, другое – вогнутое с фокусным расстоянием $F_2 = 100$ см. Определить, является ли резонатор устойчивым. Если да, то найти положение и размер перетяжки, а также размеры основной моды на зеркалах. Нарисовать каустику гауссова пучка. Длина волны излучения 10.6 мкм.

15. Пучок, излучаемый Nd:YAG-лазером ($\lambda = 1.06$ мкм), имеет диаметр $D = 6$ мм (определяется апертурой активного элемента), примерно равномерное распределение интенсивности в поперечном сечении и угол расходимости $2\theta \approx 6$ мрад. Покажите, что этот пучок не является дифракционно-ограниченным, и оцените размер моды TEM_{00} . Как изменится расходимость, если апертуру активного элемента уменьшить в 2 раза? Как изменится число радиальных поперечных мод? А как изменится расходимость дифракционно-ограниченного пучка?

16. В чем преимущества и недостатки устойчивого резонатора? Неустойчивого резонатора?

17. Линия лазерного перехода R_1 рубина ($\lambda = 694.3$ нм) хорошо описывается лоренцевой кривой с шириной по уровню 0.5 от максимального значения 330 ГГц. Пусть активный элемент (рубиновый стержень диаметром 1 см и длиной 10 см, показатель преломления $n = 1.76$) находится в плоско-сферическом резонаторе длиной 52.4 см. Радиус вогнутого зеркала 50 см. Произведение коэффициентов отражения зеркал равно 0.5.

- 1) Какое число продольных мод может принять участие в генерации?
- 2) Оценить время жизни фотонов в резонаторе.
- 3) Является ли резонатор устойчивым?

18. Для условий задачи 17 оценить расхожимость выходного излучения, насколько она отличается от дифракционной (круговая апертура), каков наивысший номер радиальной поперечной моды. Рассмотреть два случая: активный элемент вблизи плоского зеркала и активный элемент вблизи сферического зеркала. Считать, что выходное зеркало – плоское.

19. Рассеивающее зеркало конфокального телескопического неустойчивого резонатора длиной 1 м имеет диаметр 2 см и радиус кривизны 1 м. Каков радиус кривизны собирающего зеркала? Каковы потери излучения при обходе резонатора? На какой поперечный размер активной среды оптимизирован резонатор?

20. Активная среда имеет поперечное сечение 10×10 см². Подобрать конфокальный телескопический неустойчивый резонатор длиной 1.5 м при условии, что выход излучения при обходе резонатора составлял 36 %. Какую форму и размеры будет иметь выходной лазерный пучок?

Раздел 3. Режимы генерации и усиления

1. Каков физический смысл величины G в выражении $I_{\text{нас}} = \frac{1}{G\tau_{\text{эф}}\sigma}$? Какие значения она может принимать?

2. Получить выражение для инверсии, порогового значения R_p и доказать

выполнение соотношения:
$$I_{\text{нас}} \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_{\text{пор}}} - 1 \right) = \frac{1}{\alpha_{\text{пор}}} \cdot (R_p - R_{\text{пор}})$$
 для идеальной 3-хуровневой системы.

3. Квазидвухуровневая лазерная среда, характеризуется параметрами: Больцмановские факторы для верхнего и нижнего лазерных подуровней $F_v = 0.788$ и $F_n = 0.046$, $\sigma_{yc} = 2.9 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, $\tau_2 = 0.95 \text{ мс}$, $\lambda_{\text{ген}} = 1.03 \text{ мкм}$. Какую интенсивность можно получить на выходе лазера с коэффициентом отражения выходного зеркала $R_2 = 0.8$ в непрерывном режиме генерации, если мощность накачки такова, что $\alpha_0 = 3\alpha_{\text{пор}}$?

4. Какую минимальную плотность мощности накачки (Вт/см^3) надо обеспечить в рубиновом стержне, чтобы получить коэффициент усиления $\alpha_0 = 0.1 \text{ см}^{-1}$. Условия: идеальная 3-х уровневая схема, нижний (основной) уровень 4-хкратно вырожден, второй уровень состоит из двух двукратно вырожденных подуровней, разность энергий подуровней составляет около 29 см^{-1} , генерация происходит между нижним подуровнем второго уровня и основным уровнем. Общая концентрация частиц $N_s = 1.6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, время жизни второго уровня 3 мс, сечение усиления $\sigma \approx 2.5 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, длина волны накачки $\lambda \approx 550 \text{ нм}$.

5. Активный элемент Nd:YAG лазера (диаметр $\varnothing = 4 \text{ мм}$ и длина $L = 30 \text{ мм}$), накачивается непрерывными лазерными диодами с длиной волны излучения $\lambda_{\text{нак}} = 808 \text{ нм}$. Эффективность накачки $\eta_{\text{нак}} = 85 \%$. Среда близка к идеальной четырехуровневой и характеризуется параметрами: эффективное сечение усиления $3 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$, время жизни верхнего уровня $\tau = 0.23 \text{ мс}$, длина волны генерации $\lambda_{\text{ген}} = 1064 \text{ нм}$. Коэффициент отражения выходного зеркала $R_{\text{вых}} = 0.835$, внутрирезонаторные логарифмические потери $\gamma_{\text{вн}} = 0.02$. Найти пороговую мощность накачки и дифференциальный КПД. Какова будет выходная мощность и КПД лазера при 5-ти кратном превышении порога? Чему при этом будет равен коэффициент усиления α и ненасыщенный коэффициент усиления α_0 ?

6. Из формулы
$$I_{\text{вых}} = \frac{\gamma_{\text{вых}}}{2} \cdot I_{\text{нас}} \left(\frac{2L\alpha_0}{\gamma_{\text{вых}} + \gamma_{\text{вн}}} - 1 \right)$$
 получить выражения для оптимального выходного зеркала $\gamma_{\text{вых}} = -\ln(R_2) = \sqrt{2L\alpha_0\gamma_{\text{вн}}} - \gamma_{\text{вн}}$ и для выходной интенсивности при оптимальном коэффициенте отражения R_2 :

$$I_{\text{вых}}^{\text{оп}} = \alpha_0 L \cdot I_{\text{нас}} \cdot \left(1 - \sqrt{\gamma_{\text{вн}} / 2L\alpha_0} \right)^2.$$

7. Для условий задачи 5 при мощности накачки $P_{\text{нак}} = 158$ Вт найти ненасыщенный коэффициент усиления α_0 и оптимальное значение коэффициента отражения выходного зеркала R_2 . При оптимальном R_2 оценить выходную мощность генерации, пороговую мощность накачки и дифференциальный кпд. Сравнить с результатами, полученными в задаче 5.
8. Для 4-х уровневой лазерной среды длиной 1 см порог генерации достигается при $R_{\text{вых}} = 0.9$. Длина волны генерации $\lambda_{\text{ген}} = 1064$ нм, накачки – $\lambda_{\text{нак}} = 808$ нм. Удельная мощность накачки составляет $P_{\text{нак}}/V = 221$ Вт/см³, $J_{\text{нас}} = 2705$ Вт/см². Найти потери в резонаторе, оптимальное значение R_2 и плотность выходной мощности при оптимальном R_2 .
9. Для каких лазерных сред характерен режим релаксационных колебаний: газовых или твердотельных? Почему?
10. Каковы характерные времена для релаксационных колебаний, для импульсов в режиме модуляции добротности?
11. Какие факторы определяют длительность импульса в режиме модуляции добротности?
12. В чем преимущества и недостатки различных способов модуляции добротности?
13. В усилителе накачка обеспечивает инверсию $\Delta_0 = 1.25 \cdot 10^{18}$ см⁻³ (стационарный режим), сечение усиления $\sigma = 4 \cdot 10^{-20}$ см², интенсивность насыщения в среде $J_{\text{нас}} = 1$ кВт/см², коэффициент нерезонансного поглощения составляет $\beta = 0.005$ см⁻¹. Какую максимальную интенсивность можно получить при входном сигнале $I = 10$ Вт/см² (длина усилителя не ограничена). Нарисовать примерную зависимость выходной интенсивности от длины усилителя.

14. Усилитель имеет длину 4.4 м и коэффициент усиления слабого сигнала 0.05 см^{-1} . Какова должна быть интенсивность входного сигнала (в единицах $I_{\text{нас}}$), чтобы коэффициент усиления за проход был равен 20-ти (стационарный режим усиления, $\beta = 0$)?
15. Усилитель состоит из двух одинаковых частей длиной 75 см. Коэффициент усиления слабого сигнала (для всего усилителя) равен 400. Сечение усиления равно $\sigma = 4 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$. Найти эффективность съема энергии коротким импульсом с обеих частей усилителя, если энергия входного сигнала составляет $0.05 E_{\text{нас}}$. Каков коэффициент усиления для каждой из частей усилителя? Поглощением в среде пренебречь, считать, что $\tau_{\text{им}} \ll \tau_{10}$, а кратности вырождения нижнего и верхнего уровня равны.
16. В чем состоит эффект обострения импульса при усилении? Какие требования предъявляются при этом к входному импульсу и усилителю?

Раздел 4. Полупроводниковые и твердотельные лазеры

1. Перечислите основные достоинства инжекционных диодных лазеров.
2. Какие характерные параметры имеют диодные линейки, матрицы, диодные источники с волоконным выходом?
3. В чем различие расходимости диодных линеек в двух перпендикулярных направлениях? Оценить дифракционную расходимость стандартного диодного лазерного излучателя (размеры выходного пучка $100 \text{ мкм} \times 0.8 \text{ мкм}$) в разных плоскостях и сравнить с реальной расходимостью. Длина волны $\lambda = 800 \text{ нм}$.
4. В каких случаях используются матрицы на основе YAG, а в каких – на основе стекол?
5. Почему в средах на основе YLF можно получить генерацию в диапазоне 3-4 мкм, а на основе YAG это практически невозможно?
6. Оценить предельную полную мощность тепловыделения в стержне из YAG длиной 10 см и диаметром 8 мм. Каков при этом перепад температуры между осью кристалла и его поверхностью? Каково значение фокуса тепло-

вой линзы? Считать, что теплопроводность $q = 13 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, параметр $R_T = 7 \text{ Вт}/\text{см}$, $dn/dT = 8.3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$. Изменяются ли результаты при уменьшении диаметра стержня в два раза?

7. Объясните, почему зигзагообразный путь лазерного излучения в прямоугольных активных элементах позволяет компенсировать тепловую линзу?

8. В чем преимущества диодной накачки над ламповой?

9. Верхний уровень лазера на Nd:YAG состоит из двух подуровней, отстоящих друг от друга на $\Delta E = 84 \text{ см}^{-1}$. Генерация ($\lambda = 1.06 \text{ мкм}$) происходит на переходе с верхнего подуровня. Сечение данного перехода равно $8 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$, а время жизни $\tau = 0.23 \text{ мс}$. Найти интенсивность насыщения усиления.

10. Энергии подуровней нижнего лазерного уровня в Nd:YAG $^4I_{11/2}$ равны 2002 см^{-1} , 2028 см^{-1} , 2110 см^{-1} , 2146 см^{-1} , 2461 см^{-1} , 2514 см^{-1} . Найти Больцмановский фактор заполнения третьего подуровня.

11. Стержень из Nd:YAG, имеющий диаметр 6.3 мм и длину 75 мм, накачан до коэффициента усиления на проход $K = 20$ ($\lambda = 1.06 \text{ мкм}$). Какая энергия запасена на уровне $^4F_{3/2}$, какова максимальная энергия, которую можно снять импульсом длительностью 100 нс (0.1 нс)?

12. В чем преимущества и недостатки иттербиевых сред по сравнению с неодимовыми средами?

13. Каков предельный дифференциальный КПД для лазера на Yb:YAG?

14. Активный элемент из Yb:YAG (диаметр $\varnothing = 4 \text{ мм}$, длина $L = 15 \text{ мм}$) помещен в резонатор с внутренними потерями 0.01 и выходным зеркалом $R_{\text{вых}} = 0.896$. Больцмановские факторы для верхнего и нижнего лазерных уровней $F_{\text{в}} = 0.788$ и $F_{\text{н}} = 0.046$. Сечение усиления $2.9 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, время жизни верхнего уровня $\tau = 0.95 \text{ мс}$, концентрация ионов иттербия $1.38 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Длина волны генерации $\lambda_{\text{ген}} = 1030 \text{ нм}$, накачки - $\lambda_{\text{нак}} = 968 \text{ нм}$, КПД накачки $\eta_{\text{нак}} = 90 \%$. Найти пороговую мощность накачки и дифференциальный КПД лазера.

15. Что такое числовая апертура оптического волокна?

16. Каковы характерные диаметры лазерных волокон, активной сердцевины волокна?
17. Чем определяются уникальные характеристики волоконных лазеров?
18. Назовите параметры коммерчески доступных иттербиевых волоконных лазеров.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
Семестр 6				
Раздел 1. Введение в физику лазеров,	<p>Тема 1. Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты</p> <p>Тема 2. Инверсия населенностей.</p> <p>Тема 3. Трехуровневая и четырехуровневая схема накачки.</p> <p>Тема 4. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий.</p> <p>Тема 5. Основные свойства лазерных пучков.</p>	ПК-2, ПК-4	3- ПК-2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3- ПК-4, У- ПК-4, В- ПК-4	Контроль. Тест, УО

Раздел 2. Оптический резонатор	Тема 1. Оптический резонатор. Моды резонатора. Потери в резонаторе. Тема 2. Моды свободного пространства. Тема 3. Моды устойчивых резонаторов. Тема 4. Одномодовый и многомодовый режимы генерации. Тема 5. Неустойчивые резонаторы.			Контрол.. УО
Рубежный контроль		ПК-2, ПК-4, ПК-10.1, ПК-10.2	3- ПК-2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3- ПК-4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3- ПК-10,1 У- ПК-10.1, В- ПК-10.1, 3-ПК-10,2 У- ПК-10.2, В-ПК-10.2	Тест
Раздел 3. Режимы генерации и усиления	Тема 1. Режимы генерации и усиления. Тема 2. Выходная мощность в стационарном режиме. Тема 3. Импульсный генератор с модуляцией добротности. Тема 4. Усиление в стационарном режиме.	ПК-10.1, ПК-10.2	3-ПК-10,1 У- ПК-10.1, В- ПК-10.1, 3-ПК-10,2 У- ПК-10.2, В-ПК-10.2	Контрол. Тест, УО
Раздел 4. Полупроводниковые и твердотельные лазеры	Тема 1. Полупроводниковые лазеры. Тема 2. Основные процессы в активной среде твердотельного лазера. Тема 3. Схемы накачки и охлаждения в твердотельных лазерах. Тема 4. Лазеры на иттербии. Волоконные лазеры.			Контрол. УО
Рубежный контроль		ПК-2, ПК-4, ПК-10.1, ПК-10.2	3- ПК-2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3- ПК-4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3- ПК-10,1 У- ПК-10.1, В- ПК-10.1, 3-ПК-10,2 У- ПК-10.2, В-ПК-10.2	Тест

Промежуточная аттестация	ПК-2, ПК-4, ПК-10.1, ПК- 10.2	3- ПК-2, У- ПК- 2, В- ПК-2, 3- ПК-4, У- ПК- 4, В- ПК-4, 3- ПК-10,1 У- ПК-10.1, В- ПК-10.1, 3-ПК-10,2 У- ПК-10.2, В-ПК-10.2	Экзамен
---------------------------------	-------------------------------------	---	----------------

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

5.2.1. Примерные вопросы к экзамену или зачету

5.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	

65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»	Е	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Резонатор CO₂-лазера образован зеркалами с коэффициентами отражения 0.99 и 0.5. Активная среда содержит 10 Торр CO₂, 10 Торр N₂ и 54 Торр He. Коэффициенты столкновительного уширения равны $\beta_{CO_2} = 7.6 \text{ МГц/Торр}$, $\beta_{N_2} = 5.5 \text{ МГц/Торр}$, $\beta_{He} = 4.5 \text{ МГц/Торр}$. Коэффициент Эйнштейна для перехода с $\lambda = 10.6 \text{ мкм}$ равен $A \approx 0.2 \text{ сек}^{-1}$. Длина активной среды – 35 см. Найти значение пороговой инверсии.

2. Пусть некая двухуровневая среда используется в качестве поглотителя. Длина волны $\lambda = 530 \text{ нм}$, сечение поглощения $\sigma = 4 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$, время релаксации $\tau_{21} = 5 \text{ нс}$. Найти интенсивность, при которой коэффициент поглощения уменьшится в 10 раз, по сравнению с $I_{вх} \approx 0$.

3. Резонатор образован одним выпуклым сферическим зеркалом с радиусом кривизны – 1 м и вогнутым сферическим зеркалом с радиусом 1.5 м. В каком диапазоне расстояний между зеркалами резонатор остается устойчивым?

4. Аргонный лазер ($\lambda = 514.5 \text{ нм}$) работает в режиме генерации на TEM₀₀ моде. Выходная мощность 1 Вт. Рассчитать размер пучка, кривизну фазового фронта и осевую интенсивность на расстоянии 100 м от перетяжки, если радиус пучка в перетяжке 2 мм.

5. Расстояние между зеркалами конфокального телескопического неустойчивого резонатора равно 1 м. Собирающее зеркало имеет радиус кривизны 4 м. Какую форму и размеры будет иметь выходной лазерный пучок, если радиус рассеивающего зеркала 4 см?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

В каких единицах измеряется инверсия населенности?

- а) см^{-3} б) см^{-2} в) см^{-1} г) см д) см^2 е) см^3

2. Какой механизм уширения линии преобладает в лазерном кристалле?

- а) радиационный б) столкновительный в) доплеровский
г) флуктуации локального поля д) взаимодействие с фононами

3. Лазер характеризуется логарифмическими внутррезонаторными потерями за полный обход $\gamma_{\text{вн}} = 0.1$ и логарифмическими потерями на выходном зеркале $\gamma_{\text{вых}} = 0.9$. Длина активной среды – 10 см. Чему равно пороговое значение коэффициента усиления?

- а) 0.025 см^{-1} б) 0.045 см^{-1} в) 0.05 см^{-1} г) 0.09 см^{-1} д) 0.1 см^{-1}

4. При каком сочетании g-факторов ($g_i = 1 - L/R_i$) резонатор будет устойчивым?

- а) $g_1 = 1, g_2 = 1$ б) $g_1 = 0.4, g_2 = 3$ в) $g_1 = -0.5, g_2 = 1$ г) $g_1 = -0.5, g_2 = -1$

5. Излучение на выходе лазера с устойчивым резонатором состоит из четырех пятен, расположенных в вершинах квадрата. Какой эрмито-гауссовой моде соответствует такая структура?

- а) TEM_{11} б) TEM_{12} в) TEM_{22} г) TEM_{13} д) TEM_{40}

6. Конфокальный телескопический неустойчивый резонатор лазера имеет коэффициент увеличения $M = 2$. Диаметр выпуклого зеркала равен 5 см, диаметр вогнутого зеркала равен 20 см. Какой диаметр имеет лазерный пучок на вогнутом зеркале?

- а) 5 см б) 10 см в) 15 см г) 20 см

7. В каких единицах измеряется интенсивность лазерного излучения?

- а) $\text{Вт}/\text{см}^2$ б) $\text{Дж}/\text{см}^2$ в) $\text{Вт}/\text{см}^3$ г) $\text{Дж}/\text{см}^3$ д) $\text{Дж}\cdot\text{сек}/\text{см}^3$

8. Плотность энергии насыщения в среде записывается как $E_{\text{нас}} = h\nu/\sigma$. Назовите схему, которая реализуется в этой среде.

- а) двухуровневая б) квазидвухуровневая в) трехуровневая г) четырехуровневая

9. По какой схеме работает рубиновый лазер?

- а) двухуровневая б) квазидвухуровневая в) трехуровневая г) четырехуровневая

10. Какое из утверждений не верно, когда мы говорим о преимуществах диодной накачки над ламповой?

- а) КПД поглощения выше б) позволяет реализовывать разнообразные схемы накачки
в) эффективность генерации выше г) дешевле д) срок эксплуатации больше

Правильные ответы: 1а, 2д, 3в, 4г, 5а, 6б, 7а, 8г, 9в, 10г.

5.2. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Сечения усиления.
2. Инверсия населенностей. Принцип действия лазера. Порог генерации.
3. Взаимодействие излучения со средой. Коэффициент поглощения и усиления. Закон Бугера-Ламберта. Насыщение поглощения и усиления.
4. Трехуровневая и четырехуровневая схема накачки. Условия возникновения положительной инверсии населенностей.
5. Однородное уширение спектральных линий. Насыщение усиления и поглощения при однородном уширении.
6. Неоднородное уширение спектральных линий. Насыщение усиления и поглощения при неоднородном уширении. Провал Лэмба.
7. Свойства лазерных пучков: когерентность, монохроматичность. Факторы, определяющие спектральную ширину лазерной генерации.
8. Свойства лазерных пучков: когерентность, направленность. Основные факторы, влияющие на расходимость лазеров.
9. Оптический резонатор. Моды резонатора. Устойчивость резонаторов.
10. Гауссовы пучки. Формулы, описывающие распространение гауссова пучка.
11. Моды свободного пространства: эрмито-гауссовы и лагерро-гауссовы моды. Моды устойчивых резонаторов.
12. Положение перетяжки и размеры основной моды в устойчивом резонаторе. Резонансные частоты в устойчивом резонаторе. Методы селекции продольных мод.
13. Размеры мод в устойчивых резонаторах. Расходимость излучения лазера в одномодовом и многомодовом режимах. Преимущества и недостатки устойчивых резонаторов. Селекция поперечных мод.
14. Неустойчивые резонаторы. Конфокальный телескопический резонатор. Преимущества и недостатки неустойчивых резонаторов.
15. Балансные уравнения. Уравнение для инверсии. Стационарный режим. Интенсивность насыщения.
16. Стационарный режим генерации. Интенсивность вправо – влево. Усредненные уравнения. Выходная мощность в стационарном режиме генерации. Дифференциальный КПД.
17. Оптимальный коэффициент отражения выходного зеркала. Релаксационные колебания.
18. Импульсный генератор с модуляцией добротности. Способы модуляции добротности.

19. Усиление в стационарном режиме. Эффективность съема энергии с усилителя в стационарном режиме.
20. Усиление короткого импульса. Энергия насыщения. Формула Франца-Нодвика. Деформация временного профиля импульса на примере прямоугольного импульса.
21. Полупроводниковые лазеры. Мощные диодные лазеры.
22. Матрицы лазеров на твердом теле, ионы-активаторы. Свойства лазерных кристаллов и стекол. Сравнительные особенности лазеров на стекле и алюмоиттриевом гранате, активированных неодимом.
23. Основные процессы в активной среде твердотельного лазера.
24. Охлаждение активных элементов и тепловые эффекты в твердотельных лазерах.
25. Сравнение ламповой и диодной накачки твердотельных лазеров.
26. Схемы накачки и охлаждения в твердотельных лазерах.
27. Лазер на рубине. Основные характеристики рабочего перехода. Характерные параметры.
28. Лазеры на неодиме. Основные характеристики рабочего перехода. Характерные параметры.
29. Лазеры на иттербии. Основные характеристики рабочего перехода. Характерные параметры.
30. Волоконные лазеры. Способы накачки. Характерные параметры.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. О. Звелто. Принципы лазеров. М., Мир, 1990.
2. А.Н.Пихтин. Оптическая и квантовая электроника. Учебное пособие, Высшая школа, 2001.
3. Н.В.Карлов. Лекции по квантовой электронике, М., Наука, 1983.
4. В.А. Ерошенко. Основы физики лазеров. Учебное пособие, ИПК ВНИИЭФ, Саров, 2002.
5. П.В. Короленко. Оптика когерентного излучения. Москва, 1997.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ярив. Введение в оптическую электронику, М., Высшая школа, 1983.
2. А.С. Борейшо. Лазеры: Устройство и действие. Учебное пособие, Мех. ин-т., СПб, 1992.

3. Г.М. Зверев, Ю.Д. Голяев, Е.А. Шалаев, А.А. Шокин. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с неодимом. М., Радио и связь, 1985.
4. W.Koechner, M.Bass. Solid-State Lasers - Graduate Text, Springer, 2003.
5. Kogelnik H., Li T. Laser beams and resonators. Applied Optics, vol. 5, № 10, p 1550 – 1567 (1966). /Перевод: Зарубежная радиоэлектроника. № 3, стр. 102 – 133 (1967).

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Учебным планом на изучение дисциплины отводится один семестр. Для контроля усвоения студентами разделов данного курса проводятся устные опросы по результатам выполнения самостоятельных домашних заданий, контрольная работа и тестирование. В конце семестра предусмотрен экзамен.

Обязательной является самостоятельная работа студентов, которая подразумевает проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы, а также решение заданий для самостоятельной работы.

На практических занятиях студенты разбирают задания, предложенные для самостоятельной работы, приобретают навыки расчета реальных лазерных систем.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Отсутствует.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Чтение задачи. Выделение в ней предмета;
2. Выделение способа задания предмета задачи;
3. Выделение условия и требования задачи, краткая их запись;
4. Воспроизведение содержания задачи по ее краткой записи;
5. Выделение раздела курса физики, теории, закона, позволяющих объяснить описанную содержанием задачи ситуацию;
6. Выделение возможных путей отыскания поставленного требования;
7. Определение рационального подхода (метода) решения;
8. Определение способа решения;
9. Определение основного уравнения (положения), описывающего предмет задачи;
10. Определение соотношения между требованием и условием задачи и вычисление значений величин (выделение содержания нового знания);
11. Проверка правильности полученного соотношения между требованием и условием задачи;

12. Уточнение содержания полученного результата;
13. Выбор метода проверки результата;
14. Проверка правильности полученного решения.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ (ФГОС) и учебным планом основной образовательной программы (программ) по направлению подготовки: 03.03.01 «Прикладная математика и физика», профиль подготовки: «Квантовая электроника».

Автор(ы): старший преподаватель кафедры КЭ

Рецензент(ы): Зав кафедрой КЭ