

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАР
СТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии



подпись

Овчинников О.В.

21.06.2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.04 Физические основы лазерной техники

1. Код и наименование направления подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Перспективные материалы и устройства фотоники
3. Квалификация выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Татьянина Елена Павловна, к. ф.-м. н., доцент
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 20.06.2023
8. Учебный год: 2023/2024 Семестр(ы): 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование понимания о физических принципах работы лазера, условиях создания инверсии населенности и формировании лазерного излучения с желаемыми характеристиками;
- формирование системного мышления и навыков оперирования моделями различных уровней сложности при анализе явлений в лазерах и их применении.

Задачи учебной дисциплины:

- рассмотреть основные условия создания инверсии населенности, способы накачки, физические явления в активной среде и оптическом резонаторе, их влияние на лазерное излучение; теоретические модели процессов в лазерах;
- изучить фундаментальные механизмы нелинейности, неравновесности, динамические свойства лазера, физические факторы и конструктивные особенности оптического резонатора, обуславливающие характеристики лазерного излучения.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: учебная дисциплина Б1.О.04 «Физические основы лазерной техники» относится к обязательной части Блока 1.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК – 1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения и оценивать эффективность выбора и методов правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности с учетом специфики исследований и разработки приборов и систем, технологий производства оптических сред, материалов и устройств фотоники и оптоинформатики	ОПК – 1.1.	Представляет современную научную картину мира, выявляет естественнонаучную сущность проблемы исследований и разработки оптических материалов и устройств фотоники и оптоинформатики	Знать: физические принципы работы лазера Уметь: анализировать информацию при помощи интернет- и телекоммуникационных ресурсов; Владеть: навыками оперирования моделями различных уровней сложности при анализе явлений в лазерах и их применении
		ОПК – 1.2.	Формулирует задачи, определяет пути их решения и оценивает эффективность выбора и методов защиты интеллектуальной деятельности при исследованиях и создании материалов и устройств фотоники и оптоинформатики	Знать: основные направления практического использования лазерного излучения и технологических возможностей лазерных приборов Уметь: выбирать из номенклатуры используемых лазеров, лазеры с требуемыми характеристиками Владеть: физическими основами лазерной техники
ОПК – 2	Способен организовывать проведение научного исследования и разработку новых оптических систем и технологий, представлять и аргументированно защищать полученные результаты интеллектуальной деятельности, связанные с методами и средствами оптических и фотонных исследований	ОПК – 2.1.	Организует проведение научного исследования и разработку перспективных материалов и технологий создания устройств фотоники	Знать: современное состояние и перспективы развития лазерной физики и техники Уметь: самостоятельно выбирать наиболее подходящие методы и оборудование для исследований Владеть: принципами управления лазеров различных типов в зависимости от их технических характеристик
		ОПК – 2.2.	Представляет и аргументированно защищает полученные результаты интеллектуальной деятельности, связанные с методами и средствами оптических и фотонных исследований	Знать: особенности применения лазера в приборах и системах Уметь: составлять план отчета и аргументированно защищать полученный результат; Владеть: навыками представление информации в систематизированном виде, оформление научно-

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 3 / 108

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		1
Аудиторные занятия	44	44
в том числе:	лекции	30
	практические	14
	лабораторные	
Самостоятельная работа	28	28
Форма промежуточной аттестации <i>Экзамен</i>	36	36
Итого:	108	108

13.1. Содержание дисциплины

N п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Введение. Физические принципы функционирования лазера	Схема генерации. Схема лазера. Вынужденное излучение. Роль оптического резонатора. Модель активной среды с дисперсиями и потерями. Условия генерации лазерного излучения. Понятие уширения линии излучения. Инверсия населенности. Способы накачки. Красители, кристаллы, гетероструктуры как активные среды для лазера.
1.2	Формирование излучения в резонаторе лазера	Структура поля и гауссова пучка в открытом резонаторе. Моды резонатора. Особенности энергетических и временных характеристик. Типы генерации. Характеристики двух-зеркального резонатора. Приближения в теории открытого резонатора. Приближение геометрической оптики. Модель гауссова пучка. Параметры гауссова пучка, формируемого в устойчивом резонаторе. Преобразование гауссова пучка и согласование гауссовых пучков. Приближение квазиоптики.
1.3	Лазерная генерация в различных типах лазеров.	Эффективность преобразования энергии и условия инверсии для четырехуровневой системы. Режим работы лазера и создание инверсии. Механизмы процессов в лазерной среде. Принцип работы лазера на релятивистских свободных электронах. Классификация активных сред и лазеров. Влияние релаксационных параметров активных на динамические свойства лазеров
1.4	Теоретические модели процессов в лазерах	Фотонная модель одномодового лазера. Анализ фотонной модели. Полуклассическая модель одномодового лазера: волновое и материальные уравнения. Полуклассическая модель многомодового лазера в приближении вращающейся волны и медленно меняющихся амплитуд.
2. Практические занятия		
2.1	Параметры лазерного излучения.	Определение энергетических и временных характеристик лазерного излучения. Пространственные характеристики лазерного излучения.
2.2	Параметры гауссова пучка.	Ширина пучка, радиус кривизны, расходимость.
2.3	Резонаторы	Характеристики двух-зеркального резонатора. Условие устойчивости резонатора.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практ.	Лаб.раб	Сам.работа	Всего
1.1	Введение. Физические принципы функционирования лазера	6			4	10
1.2	Формирование излучения в резонаторе лазера	8			4	12
1.3	Лазерная генерация в различных типах лазеров	8			4	12
1.4	Теоретические модели процессов в лазерах	8			4	12
2.1	Параметры лазерного излучения		6		4	10
2.2	Параметры гауссова пучка		4		4	8
2.3	Резонаторы		4		4	8
	Итого:	30	14		28	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основными этапами освоения дисциплины являются: Основными этапами освоения дисциплины являются:

1) Лекции. В ходе лекционных занятий студенту необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

2) Практические занятия. При подготовке к практическим занятиям студентам рекомендуется: изучить конспект лекции по теме и рекомендованную литературу, ознакомиться с основными методами решения задач. Для закрепления изученного материала самостоятельно решить задачи, заданные в качестве домашнего задания.

3) Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.

4) Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется: изучить конспекты лекции, учебную литературу, ознакомиться с основными методами решения задач, самостоятельно решить задачи, использовать электронный образовательный портал Moodle (электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения практических работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации). Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной

почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	<i>Борейшо, А. С. Лазеры: устройство и действие / А. С. Борейшо, С. В. Ивакин. — 4-е изд., испр. — Санкт-Петербурга : Лань, 2023. — 304 с. — ISBN 978-5-8114-8994-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/330503</i>
2.	<i>Физические основы лазерной техники: Конспект лекций : учебное пособие / составитель А. П. Величко. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 104 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	<i>Вейко В.П., Шахно Е.А. Лазерные технологии в задачах и примерах: Учебное пособие. — СПб: Университет ИТМО, 2014. — 88 с.</i>
5.	<i>Вейко В.П., Шахно Е.А. Сборник задач по лазерным технологиям: Учебное пособие. — СПб: Университет ИТМО, 2007. — 67с.</i>
6.	<i>Бакланов, Е. В. Основы лазерной физики : учебник / Е. В. Бакланов. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 131 с. — ISBN 978-5-7782-3368-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/118455 — Режим доступа: для авториз. пользователей.</i>
7.	<i>Щапова, И. А. Основы оптоэлектроники и лазерной техники : учебное пособие / И. А. Щапова. — 3-е изд., стереотип. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 235 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=103827 — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-9765-0040-4. — Текст : электронный.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
8.	ЭБС «Университетская библиотека Online» – https://biblioclub.ru/
9.	ЭБС Лань – https://e.lanbook.com/

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	<i>Основы квантовой электроники: Метод. указ. к практическим работам/ Самар. нац. исследов. ун-т.; сост. В.П. Захаров, Д.Н. Артемьев; Самара, 2016. 44 с.</i>
2	<i>Физические основы квантовой и оптической электроники: методические указания к практическим занятиям и по самостоятельной работе для студентов направления «Фотоника и оптоинформатика» / С.М. Шандаров; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. — 47 с.</i>
3	<i>Квантовая и оптическая электроника: методические указания к проведению практических занятий/ сост. Н. Г. Гоголева. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 32 с.</i>

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются традиционные и дистанционные образовательные технологии: По образовательным формам: лекционные и практические занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и и др., работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

Организационная структура практического занятия - решение задач или семинар: 1. Проверка готовности студентов к занятию - их теоретическая готовность к выполнению заданий. 2. Основная часть занятия, где студенты выполняют задания, а контроль их исполнения (полнота и качество) и помощь осуществляет преподаватель. 3. Заключительная часть - подведение преподавателем итогов занятия, получение студентами заданий на самостоятельную работу.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton), электронная почта.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, ноутбук, мультимедиа-проектор, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ»

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.1	Введение. Физические принципы функционирования лазера	ОПК-1 ОПК-2	ОПК-1.1;1.2 ОПК-2.1;2.2.	Вопросы, тесты
1.2	Формирование излучения в резонаторе лазера	ОПК-1 ОПК-2	ОПК-1.1;1.2 ОПК-2.1;2.2.	Вопросы, тесты
1.3	Лазерная генерация в различных типах лазеров	ОПК-1 ОПК-2	ОПК-1.1;1.2 ОПК-2.1;2.2.	Вопросы, тесты
1.4	Теоретические модели процессов в лазерах	ОПК-1 ОПК-2	ОПК-1.1;1.2 ОПК-2.1;2.2.	Вопросы, тесты
2.1	Параметры лазерного излучения	ОПК-1 ОПК-2	ОПК-1.1;1.2 ОПК-2.1;2.2.	Тесты, задачи
2.2	Параметры гауссова пучка	ОПК-1 ОПК-2	ОПК-1.1;1.2 ОПК-2.1;2.2.	Тесты, задачи
2.3	Резонаторы	ОПК-1 ОПК-2	ОПК-1.1;1.2 ОПК-2.1;2.2.	Тесты, задачи
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				КИМ

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущая аттестация.

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы, тесты, задачи. Типовые задания теста, вопросы и задачи для проведения опроса представлены в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины. Задание включает в себя пять тестовых заданий, теоретический вопрос и 2 задачи. Время выполнения 45 мин.

Пример контрольно-измерительный материала для текущей аттестации:

Контрольно-измерительный материал № 1

Задание 1. Укажите правильные ответы.

1. Какое свойство излучения принципиально отличает лазерное излучение от других источников излучения?
а) яркость; б) когерентность; в) диапазон частот; г) мощность.
2. Какой элемент отсутствует в конструкции лазера?
а) активная среда; б) система накачки; в) резонатор; г) колебательный контур.
3. На чем основан принцип действия лазера?
а) спонтанном излучении; в) поглощении излучения;
б) вынужденном излучении; г) рассеянии излучения.
4. Инверсией населённости уровней в квантовой системе называют состояние, при котором:
а) $\frac{N_2}{N_1} > 1$; б) $\frac{N_2}{N_1} = 1$; в) $\frac{N_2}{N_1} < 1$; г) $\frac{N_2}{N_1} \rightarrow \infty$.
5. Какой тип накачки не используется:
а) оптическая; б) химическая; в) электрическая; г) механическая.
6. Естественное уширение спектральной линии обусловлено:
а) количеством излучающих атомов;
б) условиями возбуждения;
в) временем жизни возбужденного состояния;
г) временем наблюдения излучения.

Задание 2. Сформулируйте следующие основные понятия (укажите смысл терминов): мода лазерного излучения.

Задание 3. Решите задачу: Лазер на рубине излучает в импульсе длительностью $\tau = 0,5 \cdot \text{мс}$ энергию $W = 1$ Дж в виде почти параллельного пучка с площадью поперечного сечения $S = 0,8 \text{ см}^2$. Длина волны лазерного излучения $\lambda = 0,694 \text{ мкм}$. Определите давление света на площадку, расположенную перпендикулярно пучку, с коэффициентом отражения $\rho = 0,6$.

Задание 4. Решите задачу: Высокоэффективные Nd:YAG лазеры с ламповой накачкой NS-400 обеспечивает энергию 400 мДж в наносекундных импульсах с частотой повторения до 30 Гц. Определите максимальную ширину полосы излучения (МГц) данного лазера, если длительность импульса составляет 6 нс.

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) тестовые задания:

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 2 балла – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;
- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

3) ответ на теоретические вопрос:

- 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

- 1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

- 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

В зависимости от набранного балла за работу, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

от 13 до 15 баллов – «отлично»;

от 10 до 12 баллов – «хорошо»;

от 5 до 9 баллов – «удовлетворительно»;

от 0 до 4 баллов – «неудовлетворительно».

20.2. Промежуточная аттестация

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен.

Оценка за экзамен может быть выставлена по результатам текущей успеваемости обучающегося в течение семестра на заключительном занятии. Оценки вносятся в аттестационную ведомость. При несогласии студента с оценкой последний вправе сдавать экзамен на общих основаниях.

Экзамен проводится в письменной форме. Каждый КИМ включает два теоретических вопроса (и задачу (вопросы к экзамену и задачи см. в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины). Обучающийся готовит ответы на вопросы КИМа на бланках ответа и устно отвечает преподавателю. Оценивается правильность и полнота ответа на каждый вопрос, при решении задачи оценивается: знание физических основ (явлений, законов, формул), необходимых для ее решения; наличие математических преобразований; правильный ответ. Время подготовки ответа не более 45 мин, время ответа не более 15 мин.

Пример КИМ:

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии
Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи
__._.20__

Направление подготовки 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

Дисциплина Физические основы лазерной техники

Форма обучения очная

Вид контроля экзамен

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Принцип действия лазера. Квантовые процессы излучения и поглощения электромагнитных волн.
2. Моды открытого резонатора.
3. Определите, является ли устойчивым резонатор длиной 1 м с радиусами зеркал 30 см и 45 см.

Критерии и шкалы оценивания КИМ:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) ответ на теоретические вопросы:

• 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• 1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

• 2 баллов – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);

• 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;

• 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

В зависимости от набранного балла за КИМ, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

от 5 до 6 баллов – «отлично»;

от 3 до 4 баллов – «хорошо»;

2 балла – «удовлетворительно»;

от 0 до 1 баллов – «неудовлетворительно».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень типовых заданий для проведения текущих и промежуточных аттестаций

Пример вопросов для текущего контроля усвоения дисциплины:

Сформулируйте следующие основные понятия (укажите смысл терминов):

вынужденное излучение, инверсия населенностей, лазерная активная среда, лазерный переход, оптический резонатор, амплитудные условия генерирования лазерного излучения, фазовое условие генерирования лазерного излучения, мода лазерного излучения, накачка лазера, КПД лазера, газокинетическая передача энергии, оптическая накачка, электроионизационный тип накачки, тепловая накачка, ударно-излучательная рекомбинация, ондуляторное излучение, синхротронное излучение, общие принципы получения коротких импульсов света, метод пассивной синхронизации мод, лазер фемтосекундных импульсов непрерывного действия, усиления ультракоротких импульсов, измерение длительности ультракоротких импульсов.

Примерные тестовые задания для текущего и промежуточного контроля знаний

2. Какое свойство излучения принципиально отличает лазерное излучение от других источников излучения?

- а) яркость; б) когерентность; в) диапазон частот; г) мощность.

2. Какой элемент отсутствует в конструкции лазера?

- а) активная среда; б) система накачки; в) резонатор; г) колебательный контур.

3. На чем основан принцип действия лазера?

- а) спонтанном излучении; в) поглощении излучения;
б) вынужденном излучении; г) рассеянии излучения.

4. Инверсией населённости уровней в квантовой системе называют состояние, при котором:

- а) $\frac{N_2}{N_1} > 1$; б) $\frac{N_2}{N_1} = 1$; в) $\frac{N_2}{N_1} < 1$; г) $\frac{N_2}{N_1} \rightarrow \infty$.

5. Какой тип накачки не используется:

- а) оптическая; б) химическая; в) электрическая; г) механическая.

6. Естественное уширение спектральной линии обусловлено:

- а) количеством излучающих атомов;
б) условиями возбуждения;
в) временем жизни возбужденного состояния;
г) временем наблюдения излучения.

7. Сопоставьте диапазон длин волн с областью спектра излучения

Диапазон длин волн

Область спектра

- | | |
|-----------------|---------------------|
| А) 0,2—0,4 мкм | 1) инфракрасная |
| Б) 0,4—0,75 мкм | 2) видимый свет |
| | 3) ультрафиолетовая |
| | 4) радиодиапазон |

8. На каком веществе работал первый мазер?

- а) неоне; б) гелии; в) цезии; г) аммиаке.

9. Чему равна длина волны несущей частоты генерации лазера на углекислом газе (CO₂)?

- а) 0,63 мкм; б) 0,69 мкм; в) 1,15 мкм; г) 10,6 мкм.

10. Как называется уширение спектральной линии за счет роста давления называется

- а) столкновительное;
- б) естественное;
- в) доплеровское;
- г) штарковское.

11. Какое свойство не является определяющим при выборе материала матрицы конденсированных твердых диэлектрических активных сред:

- а) оптическая прозрачность;
- б) высокая твердость и теплопроводность;
- в) термическая и химическая стойкость;
- г) плотность вещества.

12. В чем преимущества четырехуровневой схемы генерации перед трехуровневой?

- а) положение полосы поглощения выше верхнего лазерного уровня;
- б) наличие метастабильного состояния;
- в) положение нижнего лазерного уровня над основным состоянием;
- г) короткое время существования нижнего лазерного уровня.

13. Какой квантовомеханический эффект лежит в основе работы лазера?

- а) фотоэффект; в) поглощение;
- б) спонтанное излучение; г) вынужденное излучение.

14. В каком диапазоне электромагнитных волн работают лазеры?

- а) радиоволны; в) рентгеновское излучение;
- б) оптический диапазон; г) γ -излучение.

15. Выберите верное соотношение энергий квантов излучения, если генерация происходит на: электронных; вращательных; колебательных переходах.

- а) $E_{\text{эл}} > E_{\text{кол}} > E_{\text{вр}}$ в) $E_{\text{эл}} = E_{\text{кол}} = E_{\text{вр}}$
- б) $E_{\text{эл}} < E_{\text{кол}} < E_{\text{вр}}$ г) $E_{\text{эл}} > E_{\text{кол}} = E_{\text{вр}}$

16. Каково соотношение между числом атомов N_1 , находящихся в состоянии с энергией E_1 и числом атомов N_2 , находящихся в состояниях с энергией $E_2 > E_1$ в термодинамически равновесных системах

- а) $\frac{N_2}{N_1} > 1$;
- б) $\frac{N_2}{N_1} = 1$;
- в) $\frac{N_2}{N_1} < 1$;
- г) $\frac{N_2}{N_1} \rightarrow \infty$.

17. Укажите способы накачки, применяемый для полупроводниковых лазеров.

- а) оптическая; б) химическая; в) электрическая; г) газодинамическая

18. Каким устройством реализуется в лазерах положительная обратная связь?

- а) резонатором; в) системой накачки;
- б) системой модуляции; г) системой терморегулирования.

19. Выберите лазер с химической накачкой

- а) неодимовый Nd:YAG;
- б) гольмиевый Ho:YAG;
- в) фторводородный HF;
- г) уголекислотный CO₂-лазер.

20. От чего зависит расходимость лазерного пучка? (укажите все правильные ответы)

- а) от длины волны излучения лазера;
- б) от диаметра выходной апертуры источника;
- в) от длины резонатора;
- г) от типа активной среды.

21. При каком условии излучение называют квазимонохроматичным? Где $\Delta\nu$ и ν_0 — ширина спектральной линии и центральная частота соответственно.

- а) $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} > 1$; б) $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = 0$; в) $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} \ll 1$; г) $\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = 1$;

22. Назовите преимущества неустойчивого резонатора (укажите все правильные ответы):

- а) весь объем активной среды может участвовать в процессе усиления света;
б) легко юстируется;
в) удобство регулировки и изменения размеров выходного светового пучка;
г) лучи остаются вблизи оптической оси даже после многих отражений.

23. Атом активатора в конденсированных твердых диэлектрических активных средах должен иметь (укажите все правильные ответы):

- а) узкую полосу поглощения;
б) широкую полосу поглощения;
в) метастабильный уровень с большим временем жизни;
г) метастабильный уровень с малым временем жизни.

24. Основными недостатками трехуровневых лазеров является (укажите все правильные ответы):

- а) положение полосы поглощения выше верхнего лазерного уровня;
б) наличие метастабильного состояния;
в) нижний лазерный уровень является одновременно основным состоянием;
г) требуются значительные энергии накачки.

25. Сопоставьте свойство лазерного излучения с параметром активной среды, которым оно определяется:

Свойства лазерного излучения

Параметры активной среды

- | | |
|---|---|
| А) участок спектра, в пределах которого возможна генерация; | 1) физическая природа активной среды; |
| Б) мощность (энергию) излучения. | 2) объем активной среды; |
| | 3) показатель преломления активной среды. |

26. Какие лазеры обладают наибольшей энергетической эффективностью?

- а) твердотельные;
б) газовые;
в) жидкостные;
г) полупроводниковые.

27. Широкое использование газовых лазеров обусловлено (укажите все правильные ответы):

- а) спектральным диапазоном излучения;
б) энергетическими характеристиками;
в) малой плотностью вещества;
г) габаритами.

Примеры задач для текущего и промежуточного контроля знаний:

1. Рассчитайте энергию фотона (в эВ) при генерации рубинового лазера на длине волны излучения $\lambda = 632,8 \text{ нм}$. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Ответ округлите до целых.

2. Рассчитайте энергию фотона (в эВ) при генерации CO_2 -лазера на длине волны излучения $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Ответ округлите до сотых.

3. Рассчитайте энергию фотона (в эВ) при генерации гелий-неонового лазера на длине волны излучения $\lambda = 632,8 \text{ нм}$. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Ответ округлите до целых.
4. Рассчитайте энергию фотона (в эВ) при генерации неодимового лазера Nd:YAG на длине волны излучения $\lambda = 1064 \text{ нм}$. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Ответ округлите до десятых.
5. Рассчитайте энергию фотона (в эВ) при генерации александритового лазера на длине волны излучения $\lambda = 755 \text{ нм}$. Постоянная Планка $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Ответ округлите до десятых.
6. Лазер на рубине излучает в импульсе длительностью $\tau = 0,5 \text{ мс}$ энергию $W = 1 \text{ Дж}$ в виде почти параллельного пучка с площадью поперечного сечения $S = 0,8 \text{ см}^2$. Длина волны лазерного излучения $\lambda = 0,694 \text{ мкм}$. Определите давление света (Па) на площадку, расположенную перпендикулярно пучку, с коэффициентом отражения $\rho = 0,6$. Ответ округлите до сотых.
7. Неодимовый лазер Nd:YAG излучает в импульсе длительностью $\tau = 10 \text{ нс}$ энергию $W = 2 \text{ Дж}$ в виде почти параллельного пучка диаметром $d = 1 \text{ мм}$. Длина волны лазерного излучения $\lambda = 1064 \text{ нм}$. Определите давление света на площадку (в МПа), расположенную перпендикулярно пучку, с коэффициентом отражения $\rho = 0,8$. Ответ округлите до сотых.
8. Гольмиевый лазер Ho:YAG излучает в импульсе длительностью $\tau = 600 \text{ мкс}$ энергию $W = 3 \text{ Дж}$. Длина волны лазерного излучения $\lambda = 2,09 \text{ мкм}$. Излучение выводится с помощью гибким световодом диаметром $d = 400 \text{ мкм}$. Определите давление света (Па) на площадку, расположенную перпендикулярно пучку, с коэффициентом отражения $\rho = 0,5$. Ответ округлите до целых.
9. Александритовый лазер излучает в импульсе длительностью 10 мс энергию плотностью 50 Дж/см^2 . Длина волны генерации 755 нм . Определите какое давление (Па) производит излучение этого лазера на площадку, расположенную перпендикулярно пучку, отражающую 20% падающего излучения.
10. Пиковая мощность фемтосекундного лазера FemtoYL-UV-15 ультрафиолетового диапазона $P = 100 \text{ МВт}$, диаметр пучка $d = 2 \text{ мм}$ на расстоянии $L = 1 \text{ м}$ от апертуры лазера. Какое давление (МПа) производит излучение этого лазера на площадку, расположенную перпендикулярно пучку на расстоянии $L = 1 \text{ м}$ и отражающую 90% падающего излучения? Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.
11. Лазер на парах золота имеет энергию в импульсе $E = 2 \text{ мДж}$, длительность импульсов $\tau = 20 \text{ нс}$ и частоту следования импульсов $f = 6 \text{ кГц}$. Рассчитать величины средней (Вт) и пиковой мощности (кВт).
12. Эрбиевый лазер Er:YAG имеет энергию в импульсе $E = 1 \text{ Дж}$, длительность импульсов $\tau = 0,5 \text{ мс}$ и частоту следования импульсов $f = 5 \text{ Гц}$. Рассчитать величины средней (Вт) и пиковой мощности (кВт).
13. Неодимовый лазер Nd:YAG имеет энергию в импульсе $E = 50 \text{ Дж}$, длительность импульсов $\tau = 2 \text{ мс}$ и частоту следования импульсов $f = 100 \text{ Гц}$. Рассчитать величины средней (кВт) и пиковой мощности (кВт).
- Решение.**
14. Гольмиевый лазер Ho:YAG имеет энергию в импульсе $E = 3 \text{ Дж}$, длительность импульсов $\tau = 600 \text{ мкс}$ и частоту следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$. Рассчитать величины средней (Вт) и пиковой мощности (кВт).
15. Лазер на парах меди излучает зеленый свет с длиной волны $510,6 \text{ нм}$ и желтый свет с длиной волны $578,2 \text{ нм}$. Определите энергию (Дж) в импульсе и длительность импульсов (нс) при частоте повторения импульсов $f = 100 \text{ кГц}$, если средняя мощности составляет 2 кВт , а пиковая 2000 кВт .
16. Определите, является ли устойчивым резонатор длиной 1 м с радиусами зеркал 30 см и 45 см .
17. Определите, является ли устойчивым резонатор длиной 1 м с радиусами зеркал 25 см и 50 см .
18. Определите, является ли устойчивым резонатор длиной 1 м с радиусами зеркал 4 м и 5 м .
19. Определите, является ли устойчивым резонатор длиной $0,5 \text{ м}$ с радиусами зеркал $0,5 \text{ м}$ и 1 м .

20. Определите, является ли устойчивым резонатор длиной 50 см с радиусами зеркал 1 м и 1 м.
21. Определите время (нс) прохождения излучения через резонатор длиной 10 см, заполненный активной средой Nd:YAG (показатель преломления $n = 1,8197$). Ответ записать с точностью до сотых.
22. Определите время (нс) прохождения излучения через резонатор длиной 10 см, заполненный активной средой Er:YAG (показатель преломления $n = 1,83$). Ответ записать с точностью до сотых.
23. Определите время (нс) прохождения излучения через резонатор длиной 24 см, заполненный активной средой α -корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), активированный ионами хрома Cr^{3+} (показатель преломления $n = 1,77$). Ответ записать с точностью до сотых.
24. Определите время (нс) прохождения излучения через резонатор длиной 12 см, заполненный активной средой $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, активированный ионами Nd^{3+} и Cr^{3+} (показатель преломления $n = 1,823$). Ответ записать с точностью до сотых.
25. Определите время (нс) прохождения излучения через резонатор длиной 10 см, заполненный активной средой $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$ (ванадат иттрия с неодимом), показатель преломления $n = 1,9573$). Ответ записать с точностью до десятых.
26. Определите минимальную длительность импульса (пс) He–Ne-лазера с шириной полосы $\Delta\nu=1,5$ ГГц. Ответ записать с точностью до целых.
27. Определите максимальную ширину полосы излучения (МГц) неодимового лазера, длительность импульса которого составляет 10 нс. Ответ записать с точностью до десятых.
28. Высокомощные Nd:YLF лазеры с диодной накачкой серии TBR-20 используются для высокоэффективной импульсной накачки титан-сапфировых лазеров на длине волны 527 нм с мощностью до 30 Вт. Определите максимальную ширину полосы излучения (МГц) данного лазера, если длительность импульса составляет 100 нс. Ответ записать с точностью до сотых.
29. Высокоэффективные Nd:YAG лазеры с ламповой накачкой NS-400 обеспечивает энергию 400 мДж в наносекундных импульсах с частотой повторения до 30 Гц. Определите максимальную ширину полосы излучения (МГц) данного лазера, если длительность импульса составляет 6 нс. Ответ записать с точностью до десятых.
30. Определите максимальную ширину полосы излучения (ГГц) пикосекундного волоконного лазера PSPL-515 (10 пс). Ответ записать с точностью до десятых.

Вопросы к экзамену:

1. Принцип действия лазера. Квантовые процессы излучения и поглощения электромагнитных волн.
2. Роль оптического резонатора.
3. Модель активной среды с дисперсиями и потерями.
4. Условия генерирования лазерного излучения.
5. Понятие уширения спектральной линии.
6. Классический аналог вынужденного испускания и усиления в квантовой системе без инверсии населенностей.
7. Эффективность преобразования энергии и условия инверсии для четырехуровневой системы.
8. Режим работы лазера и создание инверсии.
9. Механизмы процессов в лазерной среде.
10. Принцип работы лазера на релятивистских свободных электронах.
11. Классификация активных сред и лазеров.
12. Влияние релаксационных параметров активных сред на динамические свойства лазеров
13. Моды открытого резонатора.
14. Характеристики двухзеркального резонатора.
15. Приближения в теории открытого резонатора.

16. Приближение геометрической оптики.
17. Модель гауссова пучка. Параметры гауссова пучка, формируемого в устойчивом резонаторе.
18. Преобразование гауссового пучка и согласование гауссовых пучков.
19. Приближение квазиоптики.
20. Лазер как система (методологический аспект)
21. Иерархия моделей лазера.
22. Фотонная модель одномодового лазера. Анализ фотонной модели.
23. Полуклассическая модель одномодового лазера: волновое и материальные уравнения.
24. Полуклассическая модель многомодового лазера в приближении вращающейся волны и медленно меняющихся амплитуд.