

Документ подписан электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 22.07.2024 16:05:28
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«21»

мая

2024 г.



Рабочая программа дисциплины

БИОФИЗИКА

Физика лазеров и лазерные технологии

Закреплена за кафедрой: **Физики конденсированного состояния**

Направление подготовки: **03.03.02 Физика**

Направленность (профиль): **Медицинская физика**

Квалификация: **Бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Семестр: **8**

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Васильев С.А.

Тверь, 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Изучение основ лазерной физики и нелинейной оптики на максимально строгом в теоретическом отношении уровне, предполагающем решения уравнений квантовой механики. Должны быть глубоко освоены теории резонаторов и теоретические аспекты многофотонных параметрических и непараметрических процессов в нелинейных средах, методы расчета лазерных оптических схем с применением матричного аппарата, назначения и параметров основных типов лазеров.

Задачи:

Изучение теоретических основ лазеров
 Рассмотрение классификаций и видов лазеров
 Изучение конструкции и особенностей различных лазерных резонаторов
 Отработка навыка расчета лазерных оптических схем

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В.08Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Аналитическая геометрия и линейная алгебра
 Векторный и тензорный анализ
 Электричество и магнетизм
 Оптика
 Электродинамика
 Квантовая механика
 Физика полупроводников

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Резонансные методы исследования вещества
 Основы электромагнитной и радиационной безопасности

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе:	
аудиторные занятия	52
самостоятельная работа	20

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-2.2: Анализирует физические явления и процессы и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов

ПК-3.2: Использует систематизированные теоретические и практические знания для определения и решения профессиональных задач в области медицинской физики

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
зачеты	8

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. 1. Поглощение и вынужденное излучение света					
1.1	Обзор теории излучения черного тела. Вычисление вероятностей поглощения и вынужденного излучения. Вынужденные переходы в случайном поле. Вычисление вероятностей квантовых переходов.	Лек	8	2	Л1.1 Л1.2Л2.3 Л2.1 Л2.2	
1.2	Обзор теории излучения черного тела. Вычисление вероятностей поглощения и вынужденного излучения. Вынужденные переходы в случайном поле. Вычисление вероятностей квантовых переходов.	Пр	8	2		
	Раздел 2. 2. Спонтанное излучение.					
2.1	Вычисление вероятности спонтанного излучения. Механизмы уширения линий. Однородное и неоднородное уширения. Лоренцева и гауссова формы линий. Насыщение. Вырождение уровней. Определение полной ширины линий, вычисление интенсивностей насыщения	Лек	8	4		
2.2	Вычисление вероятности спонтанного излучения. Механизмы уширения линий. Однородное и неоднородное уширения. Лоренцева и гауссова формы линий. Насыщение. Вырождение уровней. Определение полной ширины линий, вычисление интенсивностей насыщения	Пр	8	4		
	Раздел 3. 3. Принцип действия лазера.					

3.1	Пассивные оптические резонаторы. Моды резонатора. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров.	Лек	8	4		
3.2	Пассивные оптические резонаторы. Моды резонатора. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров.	Пр	8	4		
	Раздел 4. 4. Свойства лазерного излучения.					
4.1	Монохроматичность и когерентность лазерного излучения. Направленность и яркость лазерного излучения. Когерентность высшего порядка.	Лек	8	2		
4.2	Монохроматичность и когерентность лазерного излучения. Направленность и яркость лазерного излучения. Когерентность высшего порядка.	Пр	8	2		
	Раздел 5. 5. Основные типы лазеров.					
5.1	Твердотельные лазеры. Лазеры на кристаллах и стеклах. Газовые лазеры. Процессы возбуждения и релаксации в газах. Газовые лазеры на нейтральных атомах. Ионные лазеры. Молекулярные газовые лазеры. Жидкостные лазеры. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на свободных электронах. Решение задач, связанных с процессами накачки.	Лек	8	4		
5.2	Твердотельные лазеры. Лазеры на кристаллах и стеклах. Газовые лазеры. Процессы возбуждения и релаксации в газах. Газовые лазеры на нейтральных атомах. Ионные лазеры. Молекулярные газовые лазеры. Жидкостные лазеры. Химические лазеры. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на свободных электронах. Решение задач, связанных с процессами накачки.	Пр	8	4		

	Раздел 6. 6. Восприимчивость вещества.					
6.1	Определение и общие свойства восприимчивости. Теория дисперсии. Двухуровневая модель и эффект насыщения. Уравнения Блоха. Решение задач, связанных с матрицами Паули и разложением операторов.	Лек	8	2		
6.2	Определение и общие свойства восприимчивости. Теория дисперсии. Двухуровневая модель и эффект насыщения. Уравнения Блоха. Решение задач, связанных с матрицами Паули и разложением операторов.	Пр	8	2		
	Раздел 7. 7. Нестационарная оптика.					
7.1	Вынужденные нестационарные эффекты. Собственное излучение атома. Коллективное излучение. Решение задач, связанных с квантовыми биениями и резонансной флуоресценцией	Лек	8	2		
7.2	Вынужденные нестационарные эффекты. Собственное излучение атома. Коллективное излучение. Решение задач, связанных с квантовыми биениями и резонансной флуоресценцией	Пр	8	2		
	Раздел 8. 8. Механизмы оптической нелинейности сред.					
8.1	Нелинейные восприимчивости. Модели оптического ангармонизма. Макроскопическая нелинейная оптика. Непараметрические взаимодействия. Параметрические взаимодействия. Нелинейная спектроскопия	Лек	8	2		
8.2	Нелинейные восприимчивости. Модели оптического ангармонизма. Макроскопическая нелинейная оптика. Непараметрические взаимодействия. Параметрические взаимодействия. Нелинейная спектроскопия	Пр	8	2		

	Раздел 9. 9. Статистическая оптика.					
9.1	Закон Кирхгофа для квантовых усилителей. Аналитический сигнал. Корреляция интенсивностей. Гамиль-тоновая форма уравнений Максвелла. Статистика фотонов и фотоэлектронов. Взаимодействие атома с квантовым полем.	Лек	8	2		
9.2	Закон Кирхгофа для квантовых усилителей. Аналитический сигнал. Корреляция интенсивностей. Гамиль-тоновая форма уравнений Максвелла. Статистика фотонов и фотоэлектронов. Взаимодействие атома с квантовым полем.	Пр	8	2		
	Раздел 10. 10. Лазерная спектроскопия.					
10.1	Теория метода. Техническое оформление метода. Задачи, решаемые с помощью лазерной спектроскопии.	Лек	8	2		
10.2	Теория метода. Техническое оформление метода. Задачи, решаемые с помощью лазерной спектроскопии.	Пр	8	2		
	Раздел 11. самостоятельная работа					
11.1	самостоятельная работа	Ср	8	20		

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

См. Приложение 1

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

См. Приложение 1

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Изучение курса заканчивается зачетом.

На первый модуль отводится 50 баллов, которые распределяются следующим образом:

Контрольная – до 30 баллов;

Доклад - до 20 баллов.

На второй модуль отводится 50 баллов, которые распределяются следующим образом:

Контрольная – до 30 баллов;

Доклад - до 20 баллов.

2. Зачет проводится в день, определенный деканатом в рамках расписания учебного процесса.

3. Студенты, набравшие в течение семестра 40 баллов получают «зачет» без выполнения дополнительных заданий, выносимых на зачет.

4. На зачете предлагается выполнить задание «Комплексный теоретический вопрос»

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Борейшо А. С., Ивакин С. В., Лазеры: устройство и действие, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-8114-8994-7, URL: https://e.lanbook.com/book/330503
Л1.2	Мирошниченко И. Б., Лазерные технологии, Новосибирск: НГТУ, 2021, ISBN: 978-5-7782-4354-5, URL: https://e.lanbook.com/book/216536

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Антипенко В. С., Никитенко В. А., Лазеры и их применение. Часть 1, Москва: РУТ (МИИТ), 2020, ISBN: , URL: https://e.lanbook.com/book/269348
Л2.2	Тучин В. В., Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях, Москва: Физматлит, 2010, ISBN: 978-5-9221-1278-9, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75958
Л2.3	Кашапов Н. Ф., Лучкин Г. С., Самигуллин М. Ф., Кашапов Н. Ф., Лазеры и их применение в медицине, Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2011, ISBN: 978-5-7882-1073-5, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258830

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	WinDjView
5	OpenOffice

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Репозиторий ТвГУ
2	ЭБС ТвГУ
3	ЭБС «Лань»
4	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»

5	ЭБС «ЮРАИТ»
6	ЭБС «ZNANIUM.COM»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-218	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-28	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран настенный

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Вопросы к зачету

1. Элементарные многофотонные процессы.
2. Восприимчивость вещества. Теория дисперсии.
3. Нелинейная оптика.
4. Классификация нелинейных эффектов.
5. Нелинейная спектроскопия.
6. Типы лазеров.
7. Основные свойства лазерного излучения: направленность, яркость, когерентность, мощность, пятнистая картина.
8. Разрешенные и запрещенные переходы.
9. Соотношение между вероятностями электрического дипольного перехода и магнитного дипольного перехода.
10. Коэффициенты Эйнштейна.
11. Механизм уширения линий.
12. Насыщение. Интенсивность насыщения.
13. Вырождение уровней.
14. Принцип работы лазера.
15. Электрическая накачка.
16. Оптическая накачка. Распределение энергии в лазерном стержне.
17. Химическая накачка.
18. Матрицы передачи для различных оптических систем.
19. Пассивные оптические резонаторы. Типы резонаторов.
20. Обобщенный сферический резонатор.
21. Непрерывный и нестационарный режимы работы лазеров.
22. Применение лазеров.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Примеры контрольных работ

Вариант 1

Указать неправильные утверждения:

а) Разность частот, соответствующих двум модам в резонаторе Фабри-Перо с одними и теми же значениями l и m , но с n , отличающимися на 1, равна $\Delta\nu n = c/d$, где c – скорость света, d – расстояние между зеркалами.

б) Если матрица передачи для оптической системы $1 \rightarrow 2$ имеет вид $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$

то фокусное расстояние для такой системы определяется формулой $f = -\frac{1}{C}$

в) Единицей измерения светимости является нит (нт).

г) Усиление излучения за один проход в активной среде определяется выражением

$K = \exp[\sigma(N_2 - N_1)l]$, где σ – сечение перехода, l – длина активной среды, N_1 и N_2 – населенности уровней 1 и 2.

д) Квантовый выход накачки φ целиком зависит от спектральной интенсивности света, излучаемого источником оптической накачки.

е) При отсутствии поглощения наиболее интенсивно накачивается внешняя часть цилиндрического лазерного стержня, соответствующая неравенству $R/\eta < r < R$, где R – радиус стержня, η – показатель преломления.

ж) Спонтанное время жизни фотона $\tau_{сп}$ зависит от интенсивности падающего света.

з) В трехуровневом лазере каждый атом, оказавшийся в возбужденном состоянии, дает вклад в инверсию населенностей.

и) Конфокальный резонатор состоит из плоского и сферического зеркал.

к) Уравнение Гельмгольца имеет вид: $\nabla^2 \bar{u} = -k^2 \bar{u}$, где \bar{u} – вектор напряженности электрического поля, k – волновое число.

Вариант 2

Указать правильные утверждения:

а) Квантовый выход накачки φ зависит от конструкции системы передачи излучения в стержень.

б) В лазерном излучении среднее число фотонов в моде может быть намного большим, чем единица.

в) Свертка лоренцевой линии шириной $\Delta\omega_1$ и гауссовой линии шириной $\Delta\omega_2$ дает линию с шириной $\Delta\omega = \sqrt{\Delta\omega_1^2 + \Delta\omega_2^2}$.

г) Спектральная плотность излучения $\rho\nu$ зависит только от частоты ν и температуры T .

д) Если матрица передачи для оптической системы $1 \rightarrow 2$ имеет вид $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$, то для системы $2 \rightarrow 1$ она будет иметь такой же вид.

е) Вероятности поглощения и вынужденного поглощения равны друг другу: $W_{12} = W_{21}$.

ж) Величина вероятности спонтанных переходов A растет как квадрат частоты: $A \sim \omega^2$.

з) В формуле для разности населенностей $\Delta N = \frac{N_t}{1 + 2\omega\tau}$, где τ - безызлучательное время.

и) Плоскопараллельный резонатор неустойчив.

к) В отсутствие поглощения в лазерном стержне радиусом R наиболее сильно накачиваются области, соответствующие условию $R/\eta \leq r \leq R$, где η - показатель преломления материала стержня.

Вариант 3

Указать правильные утверждения:

а) Коэффициенты отражения зеркал, ограничивающих активную среду, в лазере должны быть близкими к единице.

б) В четырехуровневом лазере каждый атом, попавший на верхний уровень, дает вклад в инверсию населенностей.

в) Спектральная ширина линии излучения зависит от выходной мощности излучения.

г) Спектральная эффективность оптической накачки η_s определяется конструкцией системы передачи.

д) При фокальной системе накачки зеркальная поверхность, внутри которой находятся лампа и стержень, представляет собой эллипсоид вращения.

е) Фокусное расстояние для оптической системы, описываемой матрицей передачи

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 & -13 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}, \text{ равно: } f=2.$$

ж) Для излучения АЧТ при комнатной температуре среднее число фотонов в моде для оптического диапазона близко к единице.

з) Эксимерные лазеры относятся к лазерам на красителях.

и) Спонтанное время жизни фотона $\tau_{сп}$ зависит от интенсивности падающего света.

к) Состояния имеют определенную четность, если гамильтониан системы инвариантен относительно операции инверсии.

Вариант 4

Указать неправильные утверждения:

а) Квантовый выход ϕ_{21} определяется как отношение числа фотонов, испущенных при переходе $2 \rightarrow 1$ к полному числу атомов, первоначально находившихся на уровне 1. тсп, так и от безызлучательного времени $\tau_{безызл.}$.

в) В случае газа, состоящего из двух компонентов, возбуждение атомов может осуществляться лишь при электронном ударе.

г) При любых значения коэффициента поглощения света цилиндрическим стержнем величина плотности энергии накачки в центре стержня больше, чем на поверхности стержня.

д) Энергия электродипольного взаимодействия намного меньше соответствующей энергии магнитодипольного взаимодействия.

е) Эффект Доплера приводит к однородному уширению линий.

ж) Величина вероятности спонтанного перехода A растет как четвертая степень частоты ($A \sim \omega^4$).

з) В Резонаторе Фабри-Перо две соседние продольные моды всегда разрешаются по частоте.

и) Возможна и такая матрица передачи оптической системы:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{2} & -1 \\ 3 & -\sqrt{2} \end{pmatrix}.$$

к) Ксантеновые лазеры – это полупроводниковые лазеры.

Вариант 5

Указать правильные утверждения:

а) Из трех величин: ω , α и σ только α зависит исключительно от свойств среды.

б) При оптических частотах вероятность магнитного дипольного перехода примерно в 105 раз меньше вероятности электрического перехода.

в) Мощность, которая должна поглощаться системой для поддержания ее в состоянии насыщения, равна мощности теряемой из-за спонтанного излучения.

г) При малых давлениях газа столкновительное уширение линий больше чем доплеровское.

д) Свертка гауссовой линии с лоренцевой линией дает линию, не являющуюся ни гауссовой, ни лоренцевой.

е) Спонтанное время жизни тсп в одном случае больше, чем полное время жизни τ .

ж) Коэффициент поглощения света α не зависит от величины отношения I/I_s для данной частоты.

з) Квантовый выход накачки φ_r не зависит от спектральной интенсивности источника накачки.

и) Для лазерного излучения среднее число фотонов в моде намного меньше единицы.

к) Возможна и такая матрица передачи: $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & -13 \\ -1 & 7 \end{pmatrix}$

Вариант 6

Указать правильные утверждения:

а) Число Френеля N равно одной второй отношения дифракционного полуугла α_d плоской электромагнитной волны, имеющей те же поперечные

размеры, что и резонатор, к геометрическому полууглу α_g :
$$N = \frac{\alpha_d}{2\alpha_g}.$$

б) В четырехуровневом лазере каждый атом, оказавшийся в возбужденном состоянии, дает вклад в инверсию населенностей.

в) Спектральная ширина линии лазерного излучения зависит от времени жизни фотона в резонаторе τ_e

г) Положительная инверсия ($N_2 > N_1$) является достаточным условием для достижения порога генерации.

д) Электрические дипольные переходы происходят только между состояниями, имеющими различную четность.

е) Форма линии лазерного перехода соответствует δ - функции Дирака.

ж) Возможна и такая матрица передачи для оптической системы:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

з) Помещение лазерного стержня длиной l в прозрачную сферическую обложку с диаметром $D = \eta l$ позволяет увеличить плотность энергии в стержне в η^3 раз (η - показатель преломления оболочки и стержня).

и) Формула Планка для спектральной плотности энергии ρ_ν переходит в формулу Рэля-Джинса при условии $h\nu \rightarrow \infty$.

к) Из трех величин: w , α и σ только α (коэффициент поглощения света средой) зависит исключительно от свойств данной среды.

Темы докладов

Вопросы к экзамену

1. История развития лазерной техники.
2. Использование нелинейных эффектов.
3. Типы лазеров.
4. Основные свойства лазерного излучения: направленность, яркость, когерентность, мощность, пятнистая картина.
5. Спектральный состав спонтанного излучения.
6. Безизлучательная релаксация.
7. Механизм уширения линий.
8. Принцип работы лазера.
9. Электрическая накачка.
10. Оптическая накачка. Распределение энергии в лазерном стержне.
11. Химическая накачка.
12. Пассивные оптические резонаторы. Типы резонаторов.
13. Применение лазеров.